

# Integrasjon av AIS-data i deteksjon av oljesøl i SAR-bilder

av

Erik Solfjell

**MASTEROPPGAVE**

*for graden*

***Master i Anvendt matematikk og mekanikk***

*(Master of Science)*

*Det matematisk- naturvitenskapelige fakultet*

*Universitetet i Oslo*

*Juni 2013*







# Abstract

Denne oppgaven beskriver en automatisk algoritme for å koble sammen AIS-data, *Automatic Identification System*, med en eksisterende algoritme for å detektere oljesøl i SAR-bilder, *Synthetic aperture radar*. AIS er et system som båter normalt er pålagt å bruke, og som gir informasjon om bl.a. posisjon og identitet. I oppgaven vurderes hvilke egenskaper ved oljesøl på SAR-bilder som er vesentlige, og hvilken informasjon om skipenes ferd som er viktig. En rask algoritme for å koble sammen AIS-koordinatene med oljesølenes posisjon i SAR-bildets geometri er utviklet. Relevant AIS-data blir koblet til enkelte oljesøl, og nøyaktigheten i dette vurderes på 8 bilder. 4 av bildene brukes til å bestemme verdiene til egenskapene som best kan koble riktig båt til riktig oljesøl. Resultatet av dette viser at det for manuelt identifiserte oljesøl blir det koblet riktig kilde i alle tilfeller, mens i tilfellene der look-alikes blir tilordnet kilde, er nøyaktigheten omtrent 75 %.



# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>1</b>
1.1	Målsetning . . . . .	1
1.2	Forutsetninger . . . . .	1
1.3	Organisering av oppgaven . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Bakgrunn</b>	<b>3</b>
2.1	Syntetisk aperture radar . . . . .	3
2.1.1	Generelt om radar . . . . .	3
2.1.2	Prinsippet bak SAR . . . . .	4
2.1.3	Tilbakespredning av radarsignalet . . . . .	4
2.1.4	Feilplasserte objekter . . . . .	6
2.1.5	Tilbakespredning fra havet . . . . .	6
2.1.6	SAR og oljesøl fra skipstrafikk . . . . .	10
2.1.7	SAR-satelitter . . . . .	11
2.1.8	Oljesøldeteksjon ved hjelp av fjernmåling fra satelitter . . . . .	11
2.1.9	Tidligere forskning og resultater . . . . .	12
2.1.10	Deteksjonsalgoritme . . . . .	12
2.2	<i>Automatic Identification System</i> , AIS . . . . .	14
2.2.1	AIS-data håndtering . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Integrasjon AIS og SAR</b>	<b>17</b>
3.1	Datamaterialet . . . . .	17
3.2	AIS i forhold til SAR . . . . .	17
3.2.1	Uthenting av relevant AIS-data . . . . .	18
3.2.2	AIS-koordinater til SAR-koordinater . . . . .	18
3.2.3	Overlay og koding av AIS-data . . . . .	23
3.3	Tidsbruk og info om AIS-data . . . . .	23
3.3.1	Illustrasjon av AIS på SAR . . . . .	25
3.3.2	Vurdering av nøyaktighet av AIS på SAR . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Automatisk identifisering av kilde</b>	<b>29</b>
4.1	Viktige parametre for å relatere AIS til oljesølkandidater . . . . .	29
4.1.1	Binære momenter . . . . .	29

4.1.2	Andre aktuelle parametre . . . . .	30
4.1.3	Visuell inspeksjon . . . . .	31
4.2	Algoritmen . . . . .	31
4.3	Diskusjon av utvalgte områder . . . . .	32
4.3.1	<i>Id1</i> . . . . .	32
4.3.2	<i>Id3</i> . . . . .	35
4.3.3	<i>Id8</i> . . . . .	48
4.3.4	<i>Id10</i> . . . . .	48
4.4	Resultater fra testbildene . . . . .	54
4.4.1	<i>id4</i> . . . . .	54
4.4.2	<i>id5</i> . . . . .	54
4.4.3	<i>id7</i> og <i>id9</i> . . . . .	55
4.4.4	Vurdering av nøyaktighet til algoritmen . . . . .	55
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>65</b>
5.1	Fremtidig arbeid . . . . .	65
	<b>Bibliografi</b>	<b>67</b>

# Figurer

2.1	Illustrasjon av hvordan samme objekt blir observert fra en rekke forskjellige vinkler. Bildet er hentet fra <i>Earth Snapshot</i> [10]	5
2.2	Eksempel på Dopplerforskyvning. Firkantene er posisjonen til skip fra AIS-data. Ser at SAR-posisjonen, de hvite feltene, er forskjøvet der båtene er i bevegelse.	7
2.3	Tilbakespredning fra glatt og ru overflate.	8
2.4	Bragg-spredning, der $\lambda_R$ er radarbølgelengden, $\lambda_B$ er bølgelengden til overflatebølgene og $\theta$ er innfallsvinkelen.	8
2.5	Magnitude på tilbakespredning i forhold til innfallsvinkel, hentet fra [8].	9
2.6	SAR-bilde tatt av satelitten Envisat	10
2.7	Oversikt over automatisk oljesøldeteksjon [12]	13
2.8	Utsnitt av XML-fil	16
3.1	AIS-data på SAR-området	19
3.2	Retter linjer mellom hjørnene sammen med eksakte kanter(bånd 2 og 3) til SAR-bildet.	20
3.3	Rotert slik at nederste kant blir vannrett. Gjør det enklere å finne høyden over denne.	21
3.4	Projeksjon av punkt ut til kantene	22
3.5	label2rgb for å skille linjene godt fra hverandre	24
3.6	Eksempel på AIS-data oppå SAR-bilde	25
3.7	De grønne prikkene er båter, mens de blå strekene er AIS-båter innenfor 20 minutter av tiden bildet ble tatt.	27
3.8	Området fra SAR-bildet som er utgangspunkt for figur 3.7	28
4.1	Utdrag fra SAR-bilde <i>Id1</i>	33
4.2	Aisbaner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorter) mørke flekker	34
4.3	AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorter) mørke flekker	35
4.4	Utdrag fra SAR-bilde <i>Id3</i>	36
4.5	AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorter) mørke flekker	37
4.6	Utdrag fra SAR-bilde <i>Id3</i>	38
4.7	AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorter) mørke flekker	39
4.8	AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorter) mørke flekker. Tidene til båtene samt fart hvis aktuelt og retning	41

4.9	Utdrag fra SAR-bilde <i>Id3</i> . . . . .	42
4.10	AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorter) mørke flekker . . . . .	43
4.11	Utdrag fra SAR-bilde <i>Id3</i> . . . . .	44
4.12	AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorter) mørke flekker . . . . .	45
4.13	Utdrag fra SAR-bilde <i>Id3</i> . . . . .	46
4.14	AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorter) mørke flekker . . . . .	47
4.15	Oljesøl fra SAR-bilde <i>id8</i> . . . . .	49
4.16	AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorter) mørke flekker . . . . .	50
4.17	Eksempel på at det tilordnes en kilde til et lineært felt . . . . .	51
4.18	Eksempel på at det tilordnes en kilde til et lineært felt . . . . .	52
4.19	Eksempel på at det tilordnes en kilde til et lineært felt med informasjon til mulig synder, bnr 201, og de andre aktuelle kandidatene. Feltet er delt i 2 i segmenteringen, og det er båt nummer 201 som er kilde til begge. . . . .	53
4.20	Oljesølkandidat fra <i>id4</i> . . . . .	57
4.21	Oljesølkandidat fra <i>id4</i> . . . . .	58
4.22	Oljesølkandidat fra <i>id5</i> . Potensielt oljesøl som ikke blir tilordnet kilde. . . . .	59
4.23	Oljesølkandidat fra <i>id5</i> uten å kunne peke på en synder utfra AIS-data . . . . .	60
4.24	Oljesølkandidat fra <i>id5</i> . Potensielt oljesøl som riktig blir tilordnet en kilde. . . . .	61
4.25	Oljesølkandidat fra <i>id5</i> som riktig blir tilordnet kilde på bakgrunn av fart, avstand og tidsforskjell, ikke retning. . . . .	62
4.26	Eksempel på at en mørk flekk feilaktig blir tilordnet kilde ved avstand, tid og fart. . . . .	63
4.27	Eksempel på at en mørk flekk feilaktig blir tilordnet kilde. . . . .	64

# Tabeller

2.1	Solsynkrone satelitter som er kilde til SAR-bildene i denne oppgaven. . . . .	11
2.2	Egenskaper . . . . .	14
3.1	Innhold og kjøretid for endring av koordinater for noen AIS-filer . . . . .	23
4.1	Parametre med terskler fra treningsbilder, der verdiene i de 4 første kolonnene er satt utfra aktuelt bilde. Terskelverdiene til høyre skal brukes i testing av algoritmen, så disse er satt på bakgrunn av treningsbildene. . . . .	31
4.2	Resultater . . . . .	55





# Kapittel 1

## Innledning

I denne oppgaven skal jeg se nærmere på bruken av skipsporing til å kunne identifisere kilde til oljeutslipp. *Automatic Identification System* (AIS) er et system for å overvåke skipstrafikk, og kan brukes til å følge båters posisjoner tilbake i tid. Jeg skal koble denne informasjonen sammen med eksisterende algoritme for automatisk deteksjon av oljesøl i satelittbilder av sjøen. *Synthetic Aperture Radar* (SAR) er en teknikk for å ta radarbilder med høy oppløsning av jordoverflaten, og det er slike bilder som blir benyttet.

### 1.1 Målsetning

Det kommer til å bli diskutert hvilke egenskaper som er sentrale både fra AIS-data og SAR-bilder. Til nå har det kun vært mulig å knytte båter som har vært synlige på SAR-bildet og i direkte nærhet til et oljesøl. Ved å diskutere forskjellige parametre som fart, retning og tidspunkt, skal jeg prøve å se om det er mulig å finne kilder der det tidligere ikke var mulig. Jeg vil vise hvordan en kan legge AIS-data inn i SAR-bilder ved å transformere AIS-koordinatene til SAR-bildets geometri. På den måten kan en visualisere båtbanene i SAR-bildet, og utfra manuell inspeksjon identifisere eventuell kilde. Jeg kommer til å bruke denne teknikken for å teste om algoritmen gir tilfredsstillende resultat. Målet er å finne ut om det er mulig å identifisere kilder med bruk av AIS.

### 1.2 Forutsetninger

Oppgaven går ut på å integrere AIS-data i en algoritme for automatisk deteksjon av oljesøl i SAR-bilder over sjø. Den vil ta utgangspunkt i eksisterende algoritme for deteksjon av oljesøl. Denne algoritmen detekterer mulige oljesøl i bildene og tilordner dem en konfidens som angir hvor sannsynlig det er at oljesølkandidaten er utslipp av olje. I denne konfidenstilordningen er informasjon om mulig utslippskilde viktig. Denne algoritmen består av 3 hovedsteg, segmentering av mørke felt, egenskapsuttrekking fra disse og klassifisering til oljesøl eller look-alike. Mitt bidrag vil benytte seg av steg 1 og 2, og gi en ekstra egenskap til de mørke flekkene som sier noen om sannsynligheten for om det er mulig å finne en kilde.

Datamaterialet består av 8 SAR-bilder med tilhørende AIS-data i samme geografiske område. 4 av disse bildene brukes til å finne og tilpasse parametre til algoritmen, ved visuell inspeksjon. Det er begrenset antall mulige oljesølkandidater på disse bildene, så vurderingene og konklusjonene i denne oppgavene blir av mer kvalitativ grad.

## 1.3 Organisering av oppgaven

Jeg begynner oppgaven med å presentere teorien og teknologien som ligger bak avbildning med *Syntetisk aperture radar* i kapittel 2. Der forklarer jeg de viktigste begrepene og relevante egenskaper i forhold til avbildning av havet i forbindelse med deteksjon av olje. *Automatic Identification System* er et skipssporingsystem som brukes i skipstrafikk og hvilke paramtere dette måler forklares også i kapittel 2. I kapittel 3 viser jeg hvordan jeg har gått fram for å kombinere AIS-dataene og SAR-bildene. Dette gjøres for å kunne identifisere båtene som er avbildet i SAR-bildet i tillegg til å vise hvor de har vært i SAR-bildet. I Kapittel 4 presenterer jeg algoritmen min som automatisk sjekker om det kan tilordnes en kilde til en oljesølkandidat. Jeg diskuterer hvilke egenskaper som kan være relevante, og finner et sett med parametre som vil bestemme om en oljesølkandidat har en mulig kilde. Algoritmen blir deretter testet, og det blir diskutert hvor godt den fungerer. Kapittel 5 oppsummerer jeg hva jeg har kommet fram til, og jeg diskuterer nytteverdien.

# Kapittel 2

## Bakgrunn

### 2.1 Syntetisk aperture radar

Det er omtrent 60 år siden det ble oppdaget [4] at en radar som peker til siden kan forbedre oppløsningen i azimuthretningen (som er den retningen sensorplattformen beveger seg i) ved å ta i bruk Dopplerspredningen fra signalet. Dette startet utviklingen av teknologien SAR, som står for *Synthetic Aperture Radar*. Ideen er at antennen beveger seg i en fast retning, og sender ut signaler til siden. Man mottar dermed radarsignaler fra samme objekter fra flere posisjoner. Tilslutt kobles alle disse dataene sammen, og en kan konstruere et bilde som har høyere oppløsning. Navnet *Synthetic Aperture* kommer av at oppløsningen tilsvarer den man ville fått ved en veldig stor eller lang antenne, mens det i virkeligheten er vanlig størrelse på antenne.

#### 2.1.1 Generelt om radar

Radar bruker mikrobølger. En av fordelene med disse bølgene er at de ikke absorberes av atmosfæren eller i stor grad påvirkes av skyer, i motsetning til hva som er tilfelle for optiske instrumenter som måler bølgelengder fra den synlige delen av spekteret. Når bølgelengden er rundt 3 cm eller større, vil transmisjonen i atmosfæren være nær 100 prosent som betyr at hele signalet når fram til overflaten. C-bånd har bølgelengde på 4-8 cm med frekvens på 4-8 GHz. Det er dermed mulig å avbilde jordoverflaten fra satellitter hele døgnet og uavhengig av skydekke. I tillegg er radar en aktiv avbildningsform, ved at den sender ut et signal som belyser objektet.

Radar kan brukes til å finne avstanden til et objekt, ved  $r = \frac{ct}{2}$ , der  $c$  er lyshastighet og  $t$  er pulslengden. Oppløsningen er gitt ved  $h = \frac{c\tau}{2}$ , der  $\tau$  er pulsbredden. Båndbredden er gitt ved  $\frac{1}{\tau}$ . En øker oppløsningen ved å minske pulsbredden eller øke båndbredden. En annen måte å få stor båndbredde på er ved å bruke flere pulser som er koblet sammen slik at de gir bred båndbredde. Et eksempel er *chirp* som er en kombinasjon av flere frekvenser i samme signal ved en puls som sveiper gjennom frekvenser. For å hente ut informasjon fra slike signaler, bruker en teknikken *matched filtering* som korrelerer det returnerte signalet med originalen.

Til nå har det kun vært snakk om en-dimensjonal signalprosessering, dvs. avstand fra sender til objektet. Ved å bevege senderen vil en få signaler ved siden av hverandre, og vi får informasjon i azimuthretningen. I *Side-Looking Airborne Radar* (SLAR) beveger transponderen seg, og signalet sendes til siden. Dette brukes på fly. For SLAR er oppløsningen i azimuth retningen  $dx = \frac{r\lambda}{2L}$ , der  $r$  er lengden fra sender til senter av området radaren treffer, og  $L$  er antennelengde.

### 2.1.2 Prinsippet bak SAR

Ulempen til SLAR er at oppløsningen er avhengig av avstanden fra sender til mål. For å bedre oppløsningen vil en lengre antenne hjelpe. Problemet oppstår når det er snakk om satellitter som er i bane 800 km over bakken. Da må en ha urealistisk store antenner, så det er umulig. Oppløsningen blir derfor altfor dårlig til å danne bilder av jordoverflaten. Løsningen er å lage en syntetisk aperture, og har dermed gitt navnet *synthetic aperture radar*. Prinsippet bak et SAR-system er som følger: radaren beveger seg i azimuthretning og sender ut pulser i rangeretning. Disse målingene samles, og danner et 2D-bilde i range- og azimuthretningene. Siden azimuthmålingene er kombinert oppnår en samme oppløsning som om en hadde brukt en lang antenne. På figur 2.1 ser en at objektene blir observert fra en rekke forskjellige vinkler. Ved å kombinere disse signalene kan en plassere objektet mer nøyaktig. Dette kalles SAR-prosesseringen, og består i å gjøre en 2D-filtrering.

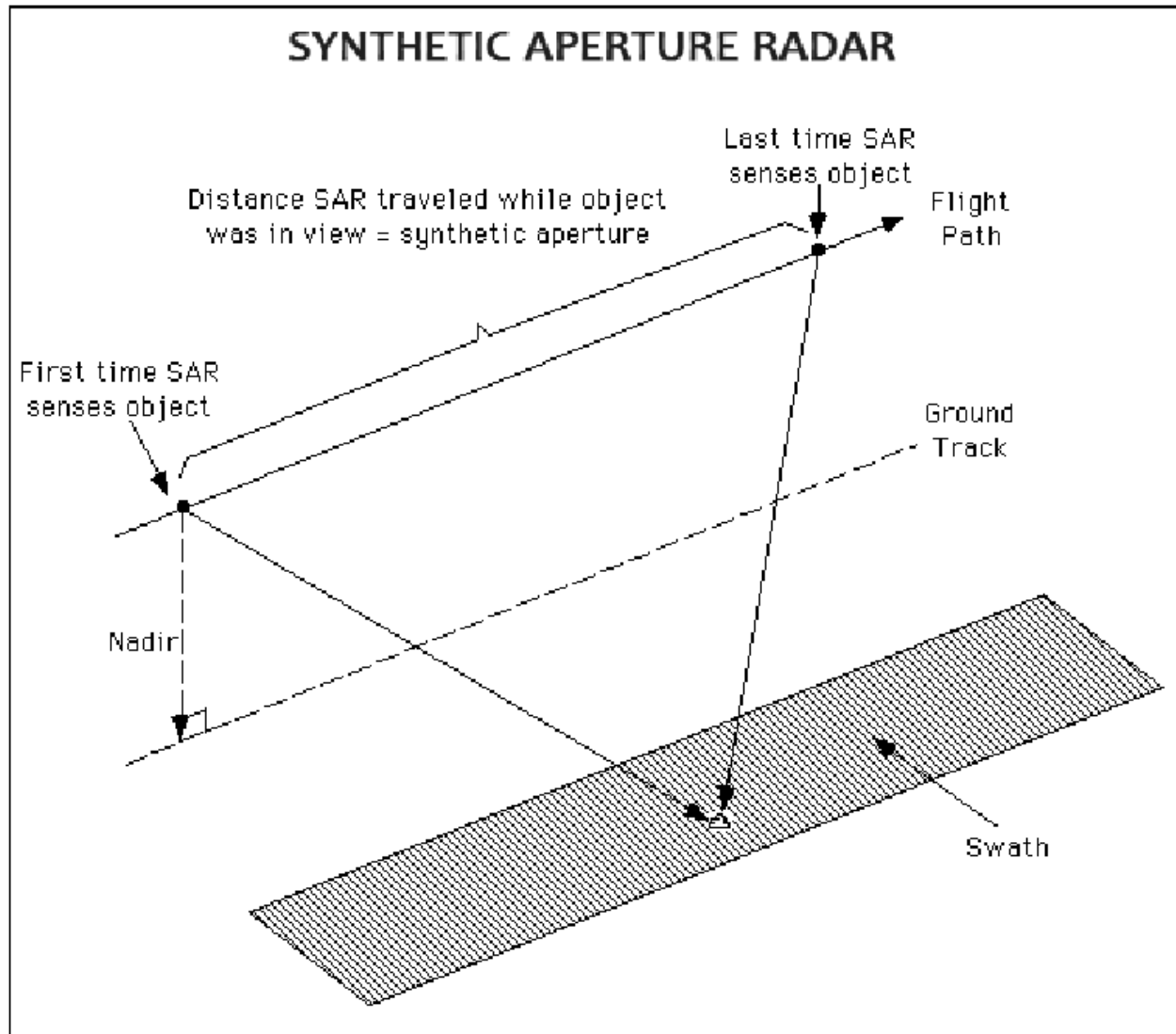
Oppløsningen for SAR er uavhengig av avstand til objektet, noe som gjør det til et kraftig avbildningsverktøy. Det er kun størrelsen på antennen som bestemmer dette, og maksimal oppløsning er omtrent halve antennestørrelsen.

### 2.1.3 Tilbakespredning av radarsignalet

I dette avsnittet går jeg gjennom hvilke elementer som spiller inn når radaren treffer målet, og hvordan dette påvirker tilbakespredningen. Refleksjon fra mikrobølger som brukes i radar oppfører seg annerledes enn optiske refleksjoner. Et radarbilde er et bilde på tilbakespredningen av signalet. Hvor sterk denne er, avhenger i hovedsak av ruheten til målet, som vist i figur 2.3. Fuktighet er også med på å øke tilbakespredning fra mikrobølger, og det er derfor nær full tilbakespredning fra vann.

Tilbakespredning kan forekomme i forskjellige utgaver. Når det er snakk om havoverflaten, er den dominante tilbakespredningen overflatespredning, siden mikrobølgene ikke penetrerer havoverflaten. Avhengig av bølgelengde vil båter bli avbildet som ett eller flere punkter. Is blir penetrert av mikrobølgene, så her vil volumspredning forekomme.

Når objektet er større enn oppløsningen til radaren, vil det bli flere signaler returnert til antenna. Pga. forskjellig fase vil det noen ganger bli kansellasjon og andre ganger dobling av styrke. For eksempel vil bølger på sjøen gi mange forskjellige faser. Da blir resultatet hopping fra sterk til svak intensitet, og man kaller et slikt mønster for speckle.



Figur 2.1: Illustrasjon av hvordan samme objekt blir observert fra en rekke forskjellige vinkler. Bildet er hentet fra *Earth Snapshot* [10]

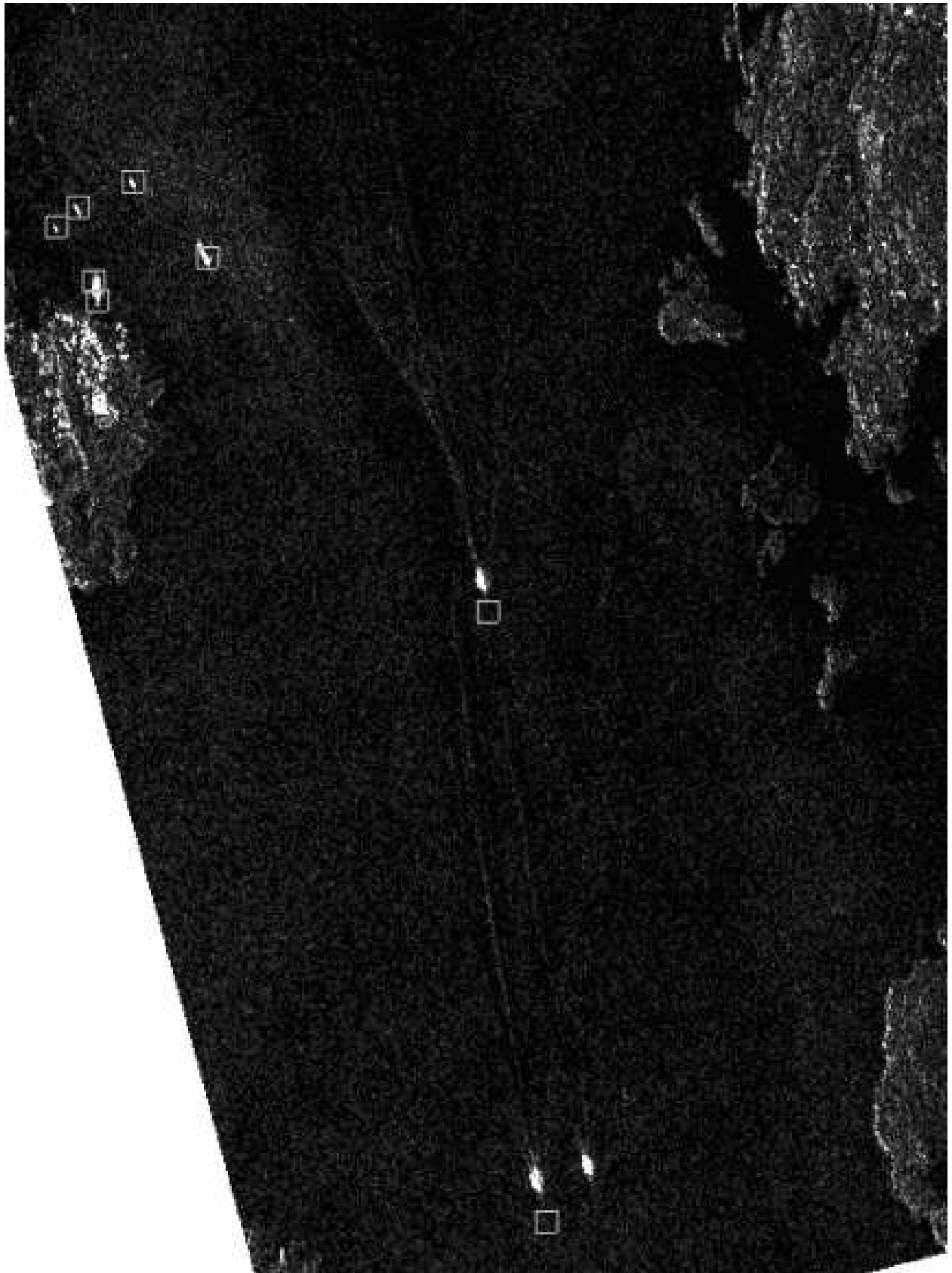
### 2.1.4 Feilplasserte objekter

Det kan oppstå tvetydigheter i azimuth retning hvis refleksjon fra ett piksel ikke er unik for en azimuthposisjon. Disse er forårsaket av sterke refleksjoner fra sidelover til antennen. SAR systemet er designet slik at stasjonære mål som blir truffet av hovedloben blir avbildet entydig. Sideloben har som regel såpass svak energi at en gain-forskjell vil føre til at disse resultatene ikke vil ha effekt på resultatet. Dersom det er veldig sterke reflektorer, kan det hende at de blir synlige. Da blir de betegnet som malplasserte objekter.

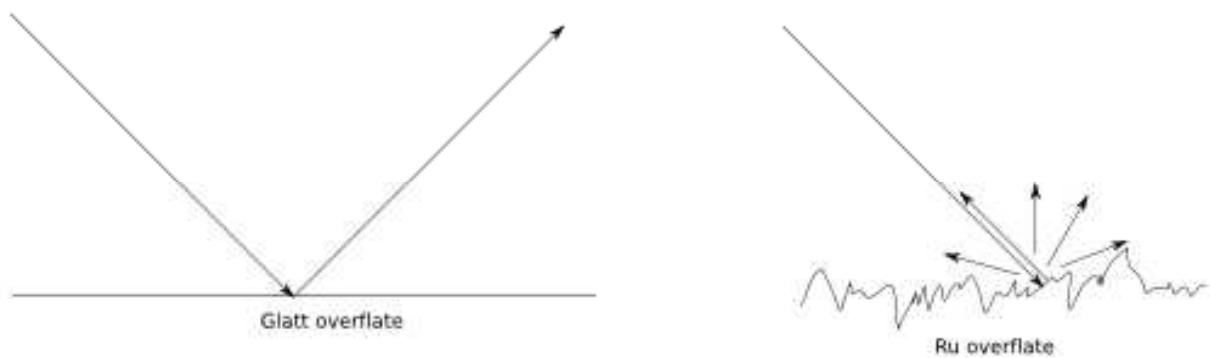
Det er også en del andre fenomener som gir et feil bilde av overflaten. *Fore-shortening*, *layover* og *shadowing* er fenomener som oppstår når radarsignalet treffer en høyde på overflaten, for eksempel en fjellside. For SAR-bilder fra satellitter er det ikke mulig å avbilde høydeforskjeller (uten å bruke interferometrisk SAR). For avbildning av havet og for mitt bruk i denne oppgaven er dette ikke viktig. Avstanden mellom bølgene i vindhastighetene som er aktuelle, er som regel mindre enn oppløsningen til SAR-bildet. I tillegg spiller fenomenet Dopplerforskyvning inn. Dette fører blant annet til at båter som har en viss fart, blir forflyttet fra sin reelle posisjon. Med informasjon om båters posisjoner i AIS-data, kan en observere denne feilplasseringen. Eksempel på slik forskyvning er visualisert i figur 2.2. Bildet er hentet fra [3] der det diskuteres hvordan en kan overvåke skipstrafikk vha. AIS-data sammen med multi-polariserte SAR-bilder.

### 2.1.5 Tilbakespredning fra havet

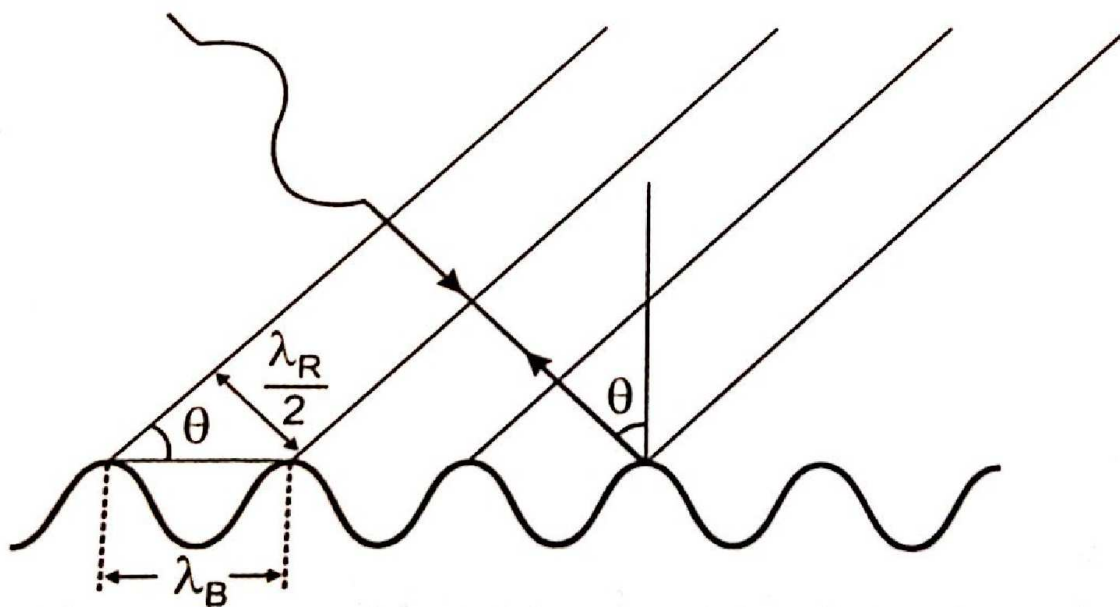
Det er en rekke mekanismer som er med på å påvirke radartilbakespredning fra havet. Vind, bølger, strømmer, oljesøl eller algeblomstring er eksempler på dette. For å kunne få tilbakespredning fra havet i det hele tatt, er en avhengig av vinkel i overflaten, dvs ru overflate slik at noe av signalet reflekteres tilbake til sensoren. Dette er illustrert i figur 2.3. Vind fører til at det skapes små bølger oppå havoverflaten. Disse bølgene resonerer med bølgene fra radarsignalet. Dette har fått navnet Bragg-spredning etter lignende fenomen som ble oppdaget av fysikeren Bragg [4]. Bragg-spredning forekommer så lenge det er vind over 2-3 m/s. Figur 2.4 viser at Bragg-spredning forekommer idet bølgelengden til radaren,  $\lambda_R$  forholder seg til bølgelengden til overflatebølgene,  $\lambda_B$  på følgende måte:  $\lambda_B = \frac{\lambda_R}{2\sin\theta}$ , der  $\theta$  er innfallsvinkelen [7]. Vind fører til at det dannes en rekke bølger med forskjellige bølgelengder, slik at sannsynligheten for å finne passende bølgelengder er stor. Braggbølger gir tilbakespredning for alle innfallsvinkler, men i nærheten av 0 og 90 grader er det andre mekanismer som er dominerende. Dette er illustrert i figur 2.5, der innfallsvinkel er vinkelen radarsignalet treffer objektet med. Rett ned er 0 grader. For innfallsvinkler nærmere 90, vil styrken på tilbakespredning generelt være lav, og andre fenomener som for eksempel skygge vil også spille inn. SAR-satellitter har mulighet til å ta bilder med forskjellig innfallsvinkel, men de vanligste vinklene ligger mellom 20 og 50. Radarbølgene kan dessuten sendes og mottas med forskjellig polarisering. HH og VV i figur 2.5 betyr henholdsvis horisontal-horisontal og vertikal-vertikal polarisering. Som det kommer fram av figuren, vil VV gi sterkere tilbakespredning enn HH. SAR-bildene beskrevet i denne oppgaven er av begge varianter.



Figur 2.2: Eksempel på Dopplerforskyvning. <sup>7</sup> Firkantene er posisjonen til skip fra AIS-data. Ser at SAR-posisjonen, de hvite feltene, er forskjøvet der båtene er i bevegelse.

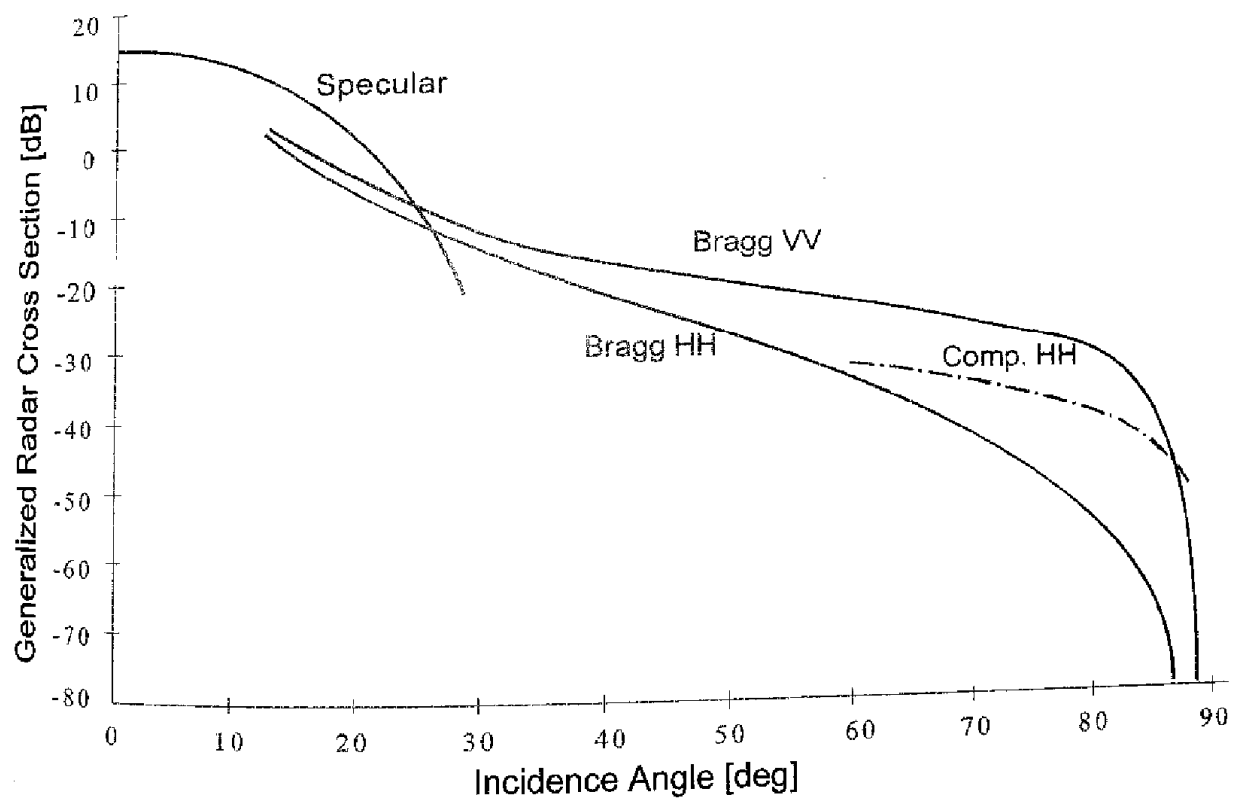


Figur 2.3: Tilbakespredning fra glatt og ru overflate.

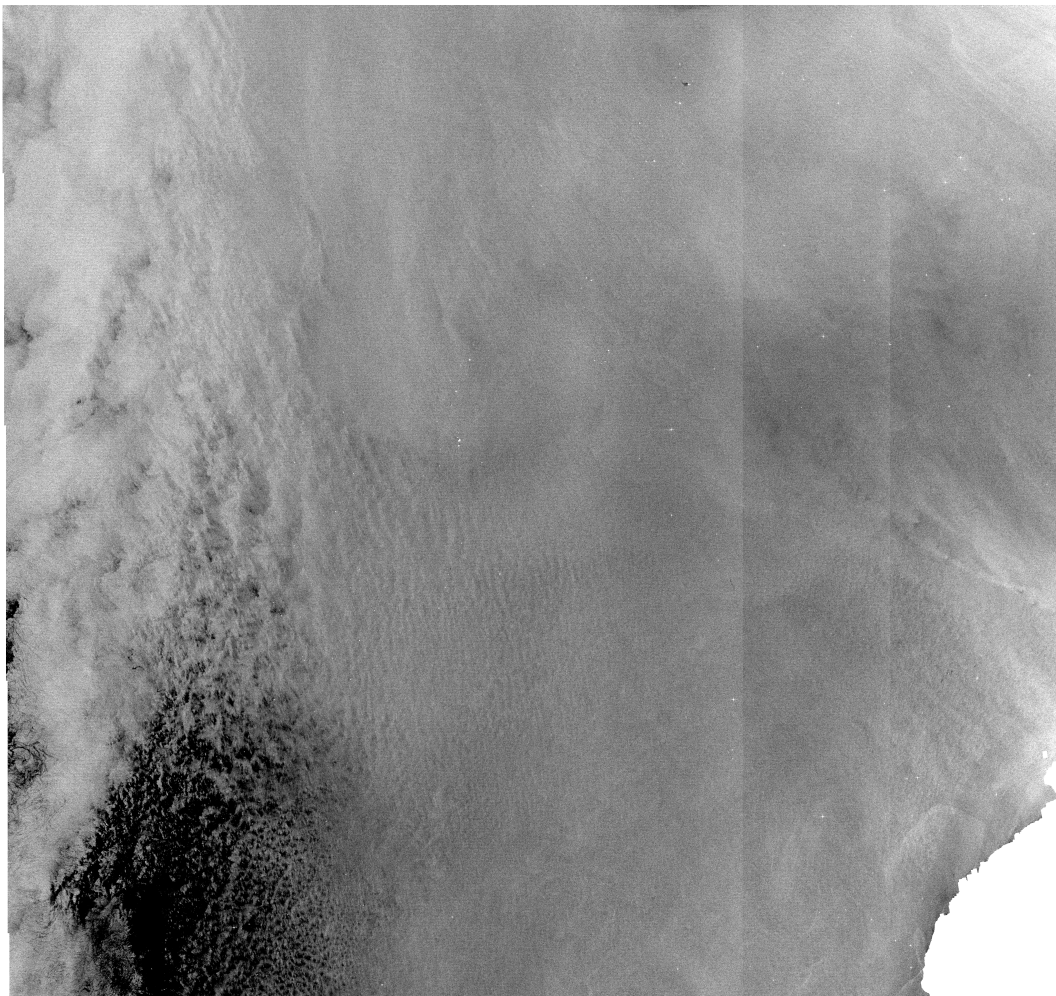


Figur 2.4: Bragg-spredning, der  $\lambda_R$  er radarbølgelengden,  $\lambda_B$  er bølgelengden til overflatebølgene og  $\theta$  er innfallsvinkelen.





Figur 2.5: Magnitude på tilbakespredning i forhold til innfallsvinkel, hentet fra [8].



Figur 2.6: SAR-bilde tatt av satellitten Envisat

### 2.1.6 SAR og oljesøl fra skipstrafikk

Oljeutslipp med vilje står for 45 prosent [2] av den totale utslippsmengden fra skip. Rengjøring av lasterom på skip er den vanligste kilden. På grunn av økende skipstrafikk har dette blitt et stadig større miljøproblem. Myndighetene har lovverk for å forhindre dette, og en måte å overholde disse på er ved å identifisere oljesøl samt kilden. Oljesøl kan detekteres på SAR-bilder, og satellitter kan dekke store områder. Seasat, Envisat, Radarsat 1 og 2, og Sentinel 1 er eksempler på sivile satellitter som kan lage slike bilder. Figur 2.6 viser et SAR-bilde tatt av satellitten Envisats ASAR. Med unntak av hjørnet nede til høyre som er land som er masket ut, viser dette hvordan tilbakespredningen fra havet ser ut på et SAR-bilde. Det er speckle som er det dominerende mønsteret og lav vind fører til det mørke feltet nede til venstre, som er den vanligste årsaken til mørke felt. Med denne målestokken er det vanskelig

å få øye på oljesøl, men noen båter kan en observere som sterke hvite prikker. Som en kan se i 2.5 vil en få sterkere signal jo mindre innfallsvinkel en bruker, men med dette bildet er det dessuten gjort en gain-korreksjon for at det skal bli jevn styrke på signalet.

### 2.1.7 SAR-satelitter

Envisat ble satt i bane i 2002, og var da den største og mest avanserte når det gjelder jordobservasjon [6]. Den består av en rekke radar- og optiske instrumenter, og har gitt kontinuerlige målinger av jorda fram til en mistet kontakten med satellitten i april 2012. Det største instrumentet om bord var en ASAR, *Advanced Synthetic Aperture Radar*. Den brukte mikrobølger med bølgelengder i C-båndet. Figur 2.6 er tatt av Envisat. Radarsat-2 er den andre satellit-

Satelitt	Envisat	Radarsat-2
Banehøyde i km	799.8	798
Baneperiode i min	100.6	100.7
Repetisjonsintervall i dager	35	24
Båndbredde i Mhz	16	100
Frekvens i Ghz	5.331	5.405
Antenne dimensjon i m x m	10 x 1.3	15 x 1.5
Oppløsning i m	30-150	3-100

Tabell 2.1: Solsynkrone satellitter som er kilde til SAR-bildene i denne oppgaven.

ten som har laget SAR-bilder som jeg har benyttet meg av. Den ble satt i bane i 2007 og drives i hovedsak av Canadas romorganisasjon *Canadian Space Agency*, CSA. I tabell 2.1 har jeg listet opp de viktigste spesifikasjonene til satellittene jeg har brukt. Informasjonen er hentet fra nettsidene [1] og [5]. Satellittene har en rekke forskjellige modus, og kan ta bilder med varierende oppløsning og innfallsvinkel. Radarsat-2-bildene jeg bruker her er tatt med *ScanSAR Narrow* som har oppløsning på 50x50 meter, mens Envisat-bildene er tatt med *Wide Swath Mode* med oppløsning på 150x150 meter.

### 2.1.8 Oljesøldeteksjon ved hjelp av fjernmåling fra satellitter

Oljesølovervåkning i praksis fungerer ved at det oppdages oljesøl på et SAR-bilde ved enten manuell eller automatisk deteksjon. Det gis deretter beskjed til overvåkningsfly som kan sikkert identifisere evt. synder hvis skip eller plattform er ved oljesølet når flyet kommer.

Som beskrevet over vil Bragg-bølger føre til tilbakespredning med tilstrekkelig vind. Steder med oljesøl vil dempe småbølgene, og vil framstå som mørke felter på SAR-bildet. Det er beskrevet en rekke andre fenomener som også skaper mørke felt, som for eksempel områder med lav vind, alger, is-sørpe, havstrømmer, le fra øyer/land og også turbulens i vannet etter båter. Å skille oljesøl fra andre mørke områder i SAR-bilder over hav er den største utfordringen i oljesøldeteksjon. Det er også vesentlig hva slags vindhastighet det er snakk om. For høy fører til at dempingen fra oljen ikke er stor nok. Lavere vind gir mindre Bragg-bølger

og det blir flere look-alikes. Vind bør ligge mellom 3 og 10 m/s for at oljesøl skal kunne detekteres optimalt [11].

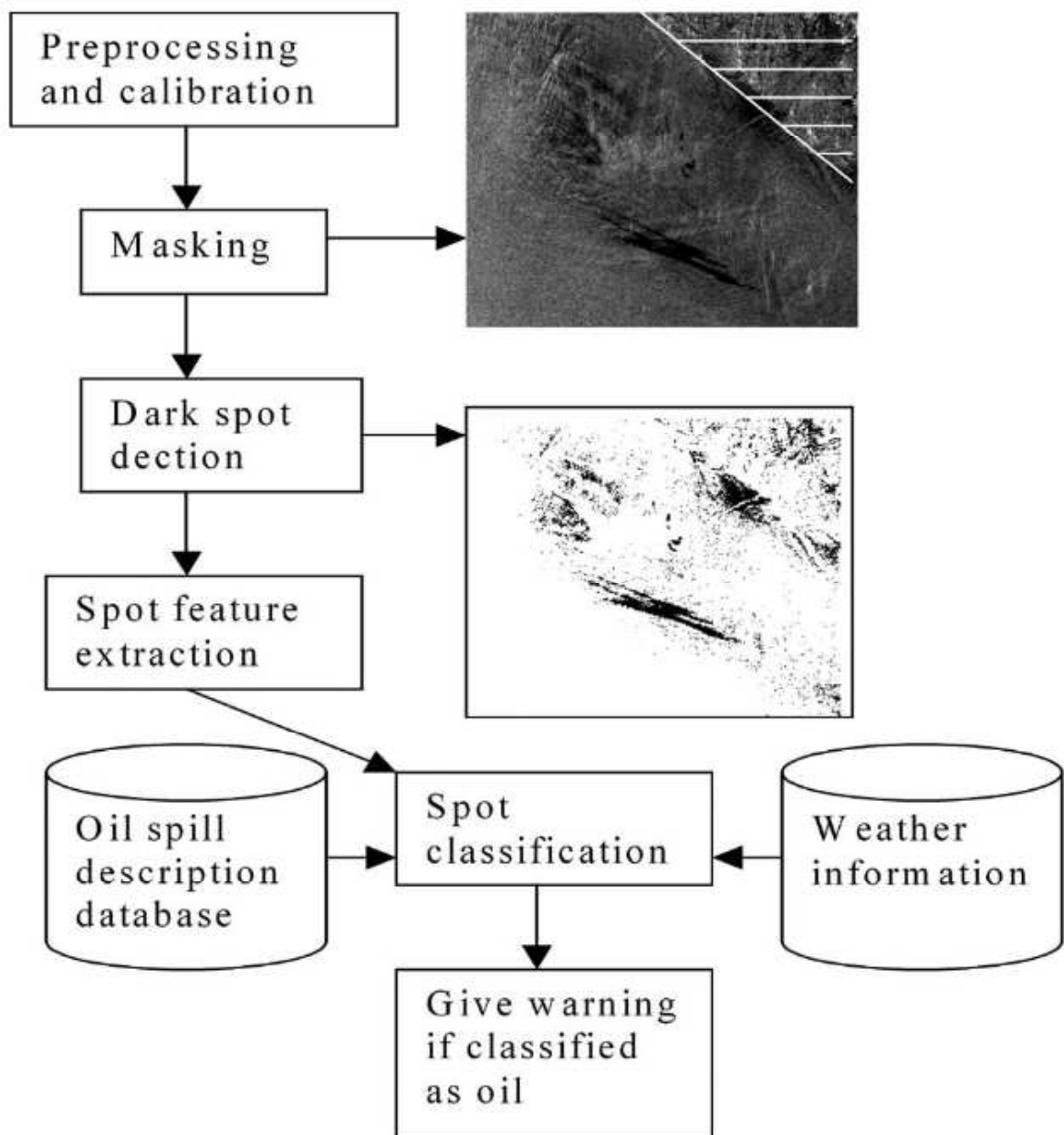
### 2.1.9 Tidligere forskning og resultater

Det utgis stadig nyere og bedre teknikker for å detektere oljesøl i SAR-bilder. Det er segmentering av SAR-bildet for å lokalisere alle mørke flekker, etterfulgt av egenskapsuttrekking og klassifisering som er hoveddelene i oljesøldeteksjon. Noen tar for seg bare en del for å utvikle denne, men det er også eksempler på arbeid som tar for seg hele syklusen. Arbeidet til Solberg, Brekke og Husøy står sentralt [12], og mye av forskning på dette område har tatt utgangspunkt i dette materialet. Raske algoritmer er viktig for det er mange store bilder som skal analyseres, og i 2012 ble en algoritme som benytter seg av adaptiv thresholding samt parallellprogrammering [9] utviklet. Denne tar for seg segmenteringsbiten av mørke flekker, som er den regnetunge delen av oljesøldeteksjon. De viste at det er mulig å forbedre hastigheten betydelig.

Bruk av skipsporing har også blitt benyttet. Uiboupin, Raudsepp og Sipelgas [13] tok for seg SAR-bilder av Østersjøen der det er stor trafikk. På SAR-bildene kunne de detektere olje, og ved hjelp av AIS-data klarte de å identifisere båtene som var avbildet på SAR-bildet samt bekrefte at de hadde passert området med oljesøl rett før bildet ble tatt. Her ble det manuelt slått fast hva som var oljesøl. I praksis gjøres dette også manuelt som en del av oljesøldeteksjon på Kongsberg Satellite Services i Tromsø, der jeg har fått AIS-dataene til denne oppgaven.

### 2.1.10 Deteksjonsalgoritme

I oppgaven min bruker jeg en algoritme for å bestemme oljesøl fra SAR-bilder [12]. Dette er en 3-steps automatisk algoritme illustrert i figur 2.1.10. Først blir mørke flekker detektert og bildet blir tersklet slik at alt hav som har jevn speckle blir fjernet. Dette er *Dark spot detection*-steget i figuren 2.1.10. Deretter blir det gjort egenskapsuttrekking fra disse. Det er en rekke egenskaper som er med på å karakterisere oljesøl som form, kontrast og homogenitet. Dette er beskrevet i [12], og jeg har listet opp de viktigste i tabell 2.2. Det siste steget er klassifisering til olje eller naturlige flekker. I tillegg til at en flekk har karakteristiske statiske egenskaper, blir det også testet at en del andre regler er oppfylt. Disse reglene er til for å luke ut flekker som blir feilklassifisert til olje. Eksempel på en slik regel er antall mørke flekker i omkringliggende område. Benchmarking av denne algoritmen viste at dens nøyaktighet kan sammenlignes med manuell inspeksjon, i tillegg til at den brukte betydelig kortere tid på analysere bildene. Oppgaven min består i å legge til informasjon om mulig kilde etter at de mørke flekkene er lokalisert, og kommer tilbake til hvilke av disse egenskapene jeg tror kan være nyttig.



Figur 2.7: Oversikt over automatisk oljesøldeteksjon [12]

#	Egenskap
1	Areal (A)
2	Omkrets (O)
3	Kompleksitet ( $O^2/A$ )
4	Standardavvik til objekt
5	Standardavvik til bakgrunn
6	Første invariante moment
7	Bredde
8	Maks kontrast mellom objekt og bakgrunn
9	Gjennomsnittskontrast
10	Maks kantgradient
11	Gjennomsnittskantgradient
12	Lokal kontrast
13	Power-to-mean ratio (PMR). PMR=stdavvik/forventningsverdi
14	Homogenitet i området rundt.
15	Antall mørke flekker i området rundt.
16	Antall mørke flekker i hele bildet.
17	Avstand til punktkilde

Tabell 2.2: Egenskaper

## 2.2 *Automatic Identification System, AIS*

AIS er et verktøy som benyttes i skipstrafikken, og er hovedsaklig et system som rapporterer posisjonen til skip med GPS. Det er i hovedsak større båter som benytter seg av dette, og i de fleste farvann er det krav om å bruke dette systemet. Siden teknologien har utviklet seg og prisen har blitt lavere har også mindre båter installert dette systemet. Hovedformålet er å forhindre kollisjoner mellom båter, men det er en rekke andre bruksområder. Informasjon om posisjon tilbake i tid gjør at en kan finne ut om en båt har vært i et område der det har skjedd for eksempel en ulykke eller et oljeutslipp.

Hvert skip som har AIS installert har en transponder. Denne sender ut signaler med jevne mellomrom. Hvor ofte avhenger av hastigheten til båten. For eksempel er det veldig få signaler per time hvis et skip ligger i havn. Det er begrenset rekkevidde når signalet mottas ved landbaserte stasjoner, men det er allerede jobbet mye med å utvikle satelittbaserte mottakere.

Informasjonen som transponderen sender ut består av en rekke nyttige opplysninger. Det er blant annet identitet, fart, retning, posisjon, destinasjon, last, vekt og lengde. Det er hovedsakelig posisjon, identifikasjon og tid jeg skal bruke når jeg skal bestemme om en båt har passert områder klassifisert som oljesøl i algoritmen for deteksjon av oljesøl.

### 2.2.1 AIS-data håndtering

AIS-dataene er lagret i *Extensible Markup Language*(XML) -format. Dette markeringsspråket er velegnet for datautveksling for formatet er både menneskelig lesbart og maskinlesbart. De aktuelle dataene jeg skal jobbe med er levert av Kongsberg Satelitte Services (KSAT) i Tromsø, og de er bygd opp på følgende måte. Først er det oversikt over hvor dataene er hentet fra. Det er 2 sett med koordinater, som beskriver hjørnene nede til venstre og oppe til høyre for scenen som AIS-dataene tilhører. Deretter kommer en liste med alle båtene. Hver båt oppgir først *Maritime Mobile Service Identity*(MMSI) som er unik til hvert skip, navn og en rekke data som beskriver skipet. Så kommer sporingsdataene. Det er en liste med observerte posisjoner med tid, koordinater, fart, retning og dreining til hver posisjon. XML-fila er strukturert slik at hvert element har kodeord foran og bak, slik at det skal være lett for et dataprogram å tolke fila. For eksempel

```
<ais:time>2010-09-02T17:55:31.000+01:00</ais:time>
```

sier hva tiden og datoen er ved denne målingen. Det varierer hvor ofte det er tatt måling. Mellom 10 minutter og 1 time ser ut til å være vanligst. For den første båten er første måling kl 1800, og siste måling er 2100. Den neste båten har 1719 som første og 2122 som siste. Noen har starttid 1500, mens andre har sluttid 2000 osv. Det er altså rundt 6 timers data som er samlet inn for en typisk fil jeg skal jobbe med. Figur 2.8 er et lite utdrag fra en XML-fil. Legger merke til at posisjonene består av to koordinater, lengde- og bredde-grad. Dette samsvarer med SAR-bildene jeg skal jobbe med, som også bruker dette koordinatsystemet.

```

- <ais:trackProperty>
  - <ais:track srsName="EPSG:4326">
    - <ais:objectStatus>
      - <gml:Point>
        <gml:pos>51.89208 3.54554</gml:pos>
      </gml:Point>
      <ais:time>2010-08-17T15:27:25.000+01:00</ais:time>
      <ais:speedOverGround>0</ais:speedOverGround>
      <ais:courseOverGround>359</ais:courseOverGround>
      <ais:heading>115</ais:heading>
      <ais:navigationalStatus>1</ais:navigationalStatus>
      <ais:dataSource/>
    </ais:objectStatus>
    - <ais:objectStatus>
      - <gml:Point>
        <gml:pos>51.893658 3.54507</gml:pos>
      </gml:Point>
      <ais:time>2010-08-17T21:22:55.000+01:00</ais:time>
      <ais:speedOverGround>0.2</ais:speedOverGround>
      <ais:courseOverGround>13.2</ais:courseOverGround>
      <ais:heading>334</ais:heading>
      <ais:navigationalStatus>1</ais:navigationalStatus>
      <ais:dataSource/>
    </ais:objectStatus>
  </ais:track>
</ais:trackProperty>

```

Figur 2.8: Utsnitt av XML-fil



# Kapittel 3

## Integrasjon AIS og SAR

### 3.1 Datamaterialet

Jeg har fått utdelt 8 SAR-bilder som jeg har basert utregningene og analysen min på. Alle bildene har tilhørende AIS-data og de er geokodet til å ha informasjon om lengde- og breddegrader. Disse SAR-bildene består av 3 bånd, der bånd 2 og 3 er henholdsvis lengde- og breddegrader for hvert piksel i bildet. Dette gir det geografiske området bildet dekker. De tilhørende AIS-dataene er fra omtrent samme område, og bruker samme koordinater.

Typisk for bildene er at de inneholder mange båter. Flere er fra den engelske kanalen der skipstrafikken er veldig høy. De er ofte lokalisert i nærheten av havner eller oljeplattformer. Det er i disse farvannene at oljeutslipp forekommer oftest, og ved manuell inspeksjon er det mulig å identifisere oljesøl på flere av dem. Deteksjonsalgoritmen [12] identifiserer båtene på SAR-bildet og jeg skal se om AIS-dataene kan gi mer og bedre informasjon om hvor sannsynlig det er at disse båtene er kildene til de mulige oljesølene. Første steg er å plote AIS-dataene som båtbaner i samme området som SAR-bildet.

### 3.2 AIS i forhold til SAR

For å kunne se på AIS-dataene i forhold til SAR-bildene har jeg laget en algoritme som transformerer koordinatene i AIS-dataene til SAR-bildets piksler. I tillegg har jeg laget linjer mellom AIS-koordinatene og algoritmene resulterer i at jeg har et bilde med båtbanene samt en datafil med ekstra informasjon til de forskjellige båtbanene. Dette bildet med tilhørende data er i samme dimensjon som SAR-bildet. Da kan jeg lett sjekke om båtene som er avbildet i SAR-bildet stemmer overens med AIS-data, og samtidig bruke dette banebildet til å måle avstander til oljesøl på SAR-bildet. Stegene i algoritmen har jeg oppsummert her:

1. Uthenting av relevant AIS-data.
2. Konvertere AIS-koordinater til SAR-koordinater
  - (a) Rotasjon av AIS-data

- (b) Finne omtrentlig AIS-posisjon i tilnærmet område.
- (c) Finne eksakt posisjon fra SAR-bildets bånd 2 og 3 ved å bruke omtrentlig posisjon som søkepunkt.

### 3. Koding av AIS-data

- (a) Lager linjer mellom AIS-punkter, der pikselverdien er bestemt av AIS-dataene til disse punktene.
- (b) Lager en datafil med ekstra informasjon til båtene.

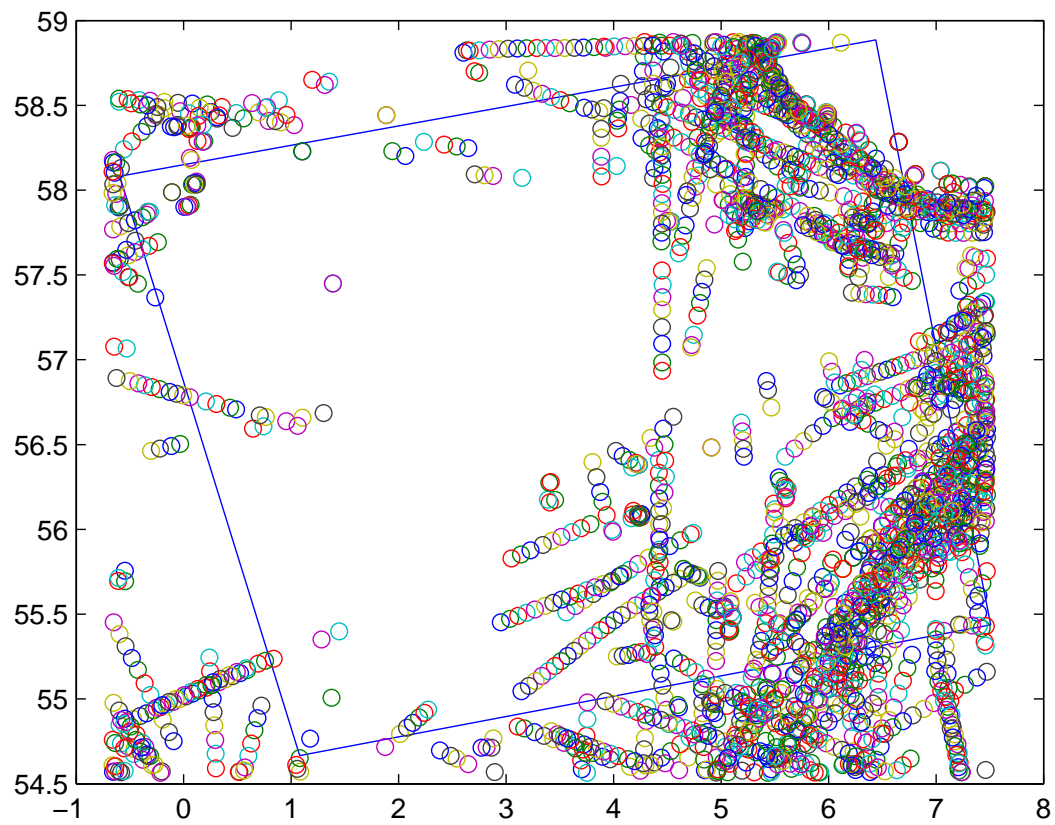
I figur 3.1 har jeg plottet området som et SAR-bilde utspenner i forhold til lengde- og bredde-grader, de blå kantene. Det er dette området selve SAR-bildet er tatt fra. I tillegg har jeg plottet samtlige koordinater fra alle båtene som er registrert i AIS-fila som hører til. Punktene har enten havnet innenfor eller i et lite område utenfor. AIS-informasjon er som regel hentet fra et område som er orientert rettvinklet i forhold til ekvator, mens SAR-bildet som regel er tatt på skrå. For å forenkle transformasjon fra lat/long til pikselkoordinater, har jeg forenklet området som SAR-bildet utspenner. Istedenfor å bruke eksakt område, har jeg trukket rette linjer mellom hjørnene. Dette er sammenlignet med den faktiske posisjonen til alle kantpikslene i bildet. Forskjellen er ikke stor, som en kan se i figur 3.2. Grunnen til at jeg gjør dette er for å forenkle utregningen av posisjon til AIS-data i SAR-området, og jeg kompenserer for denne feilen ved å bruke et vindu rundt posisjonen når jeg leter etter eksakt koordinat. Det er selvfølgelig mulig å lete etter rett koordinat i hele SAR-bildet direkte. Problemet med dette er at bildene er gjerne i størrelsesorden 4500x4500, og med rundt 3000 koordinater, tar dette for lang tid til praktisk bruk.

#### 3.2.1 Uthenting av relevant AIS-data

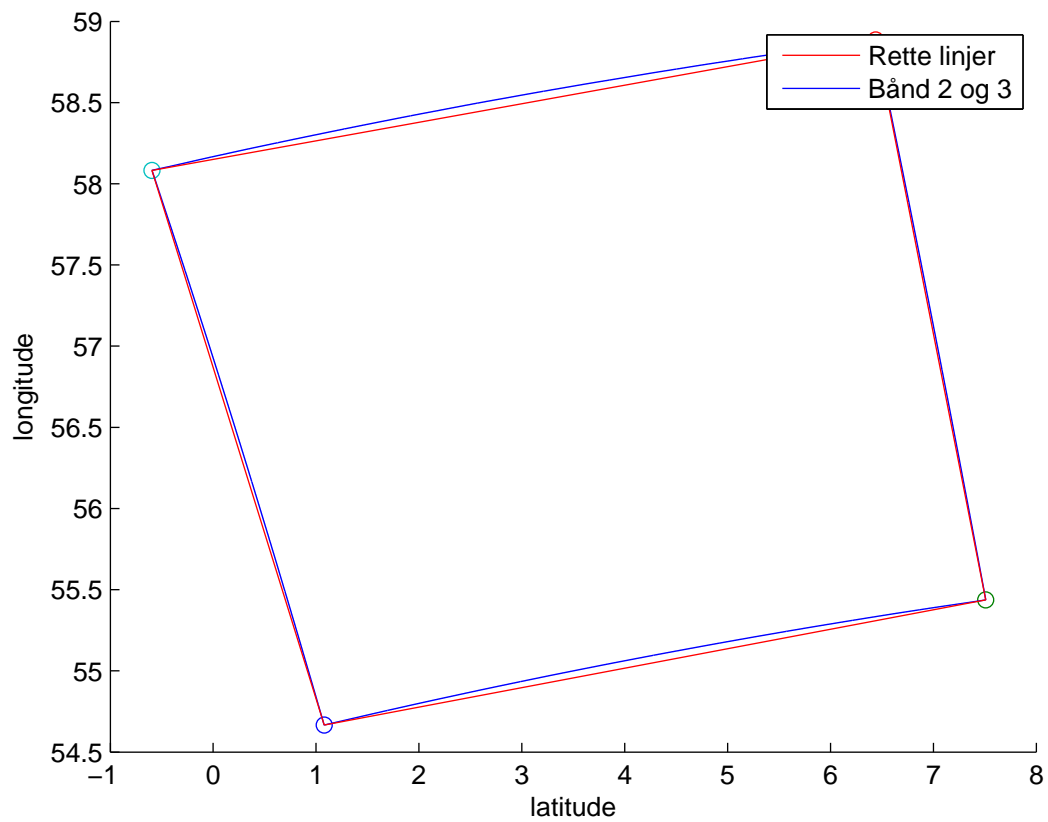
Som nevnt tidligere er det mye informasjon til hver båt og dens posisjoner. I oppgaven min er det i hovedsak posisjon, tid, retning og fart som er vesentlig. Fart og retning regner jeg ut fra posisjon og tid, så det eneste jeg henter ut er koordinatene, time og minutt. Siden dataene er lagret i XML-format er det greit å hente informasjonen ut ved standard parsing.

#### 3.2.2 AIS-koordinater til SAR-koordinater

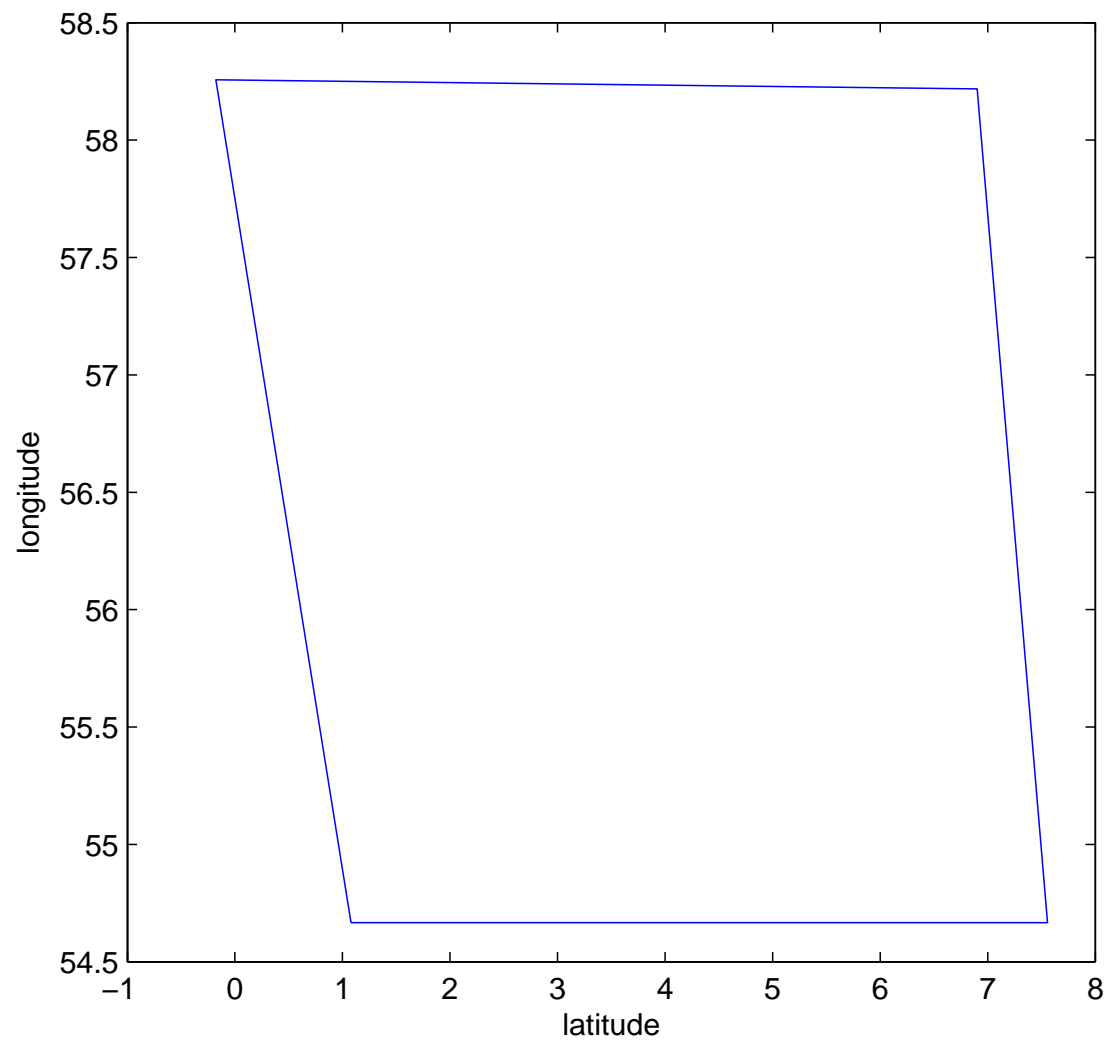
Neste steg er å finne ut hvor koordinatene passer inn i forhold til bånd 2 og 3 fra SAR-bildet. Det er disse båndene som beskriver lat/long-koordinatene i SAR-bildet. Henter først ut de 4 hjørnene og trekker linjer mellom dem. Sjekker at kantene på bånd 2 og 3 stemmer omtrent overens med disse rette linjene. I figur 3.2 er dette illustrert. Etter dette gjøres rotasjon for å forenkle utregningene, se figur 3.3. Rotasjonen gjøres for at den nederste kanten skal bli parallell med x-aksen, så det roteres med denne vinkelforskjellen om det nedre venstre hjørnet. Det gjøres den samme rotasjonen på AIS-koordinatene for at de skal få riktig plassering i forhold til SAR-koordinatene.



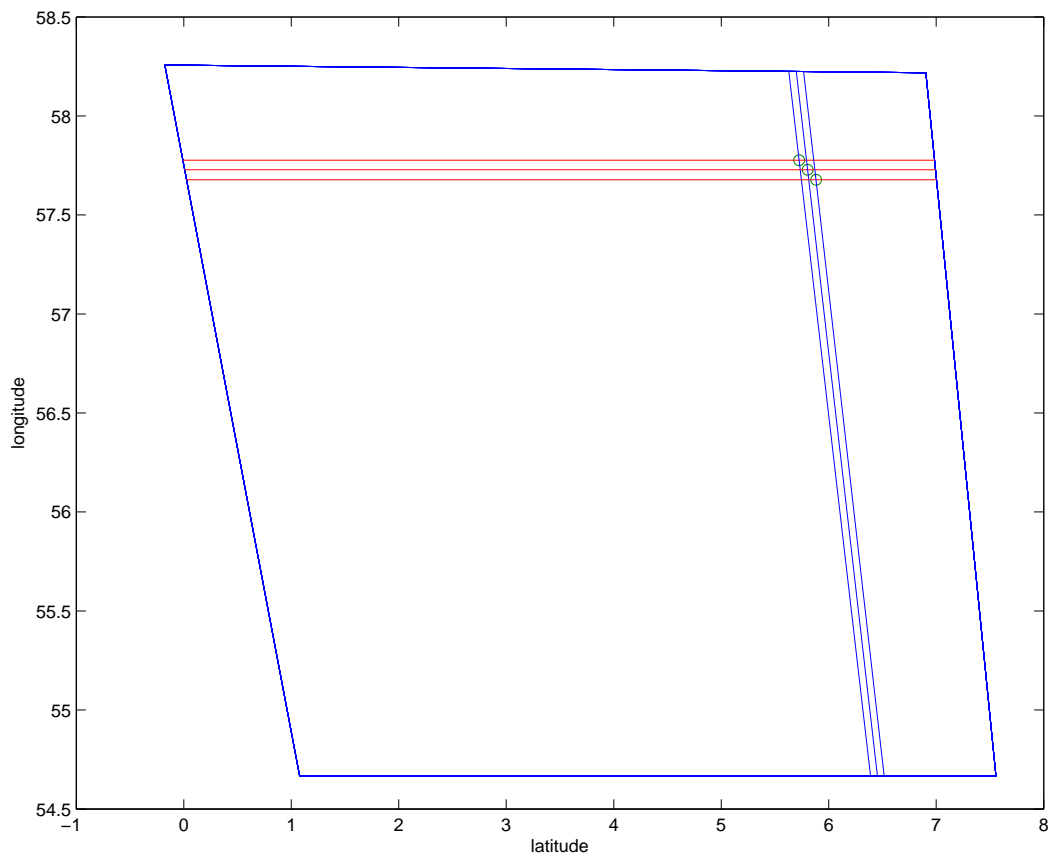
Figur 3.1: AIS-data på SAR-området



Figur 3.2: Retter linjer mellom hjørnene sammen med eksakte kanter(bånd 2 og 3) til SAR-bildet.



Figur 3.3: Rotert slik at nederste kant blir vannrett. Gjør det enklere å finne høyden over denne.



Figur 3.4: Prosjeksjon av punkt ut til kantene

Deretter finner jeg høyden til AIS-koordinatet i forhold til den vannrette linja. Området er en firkant, men ganske langt unna et rektangel. Jeg finner derfor høyden til de 2 hjørnepunktene i toppen, samt bredde i forhold til de nederste hjørnene slik at jeg kan finne lengden på kantene. Jeg bruker høyden til AIS-koordinatet i forhold til høyden til de 2 hjørnene for å finne ut hvor høyt på kanten punktet ligger. Ved å trekke en linje mellom disse 2 punktene, dannes det en linje som passerer AIS-koordinatet. I figur 3.4 er det plottet eksempler på disse vannrette linjene. Formålet med dette er at punktene på kantene kan brukes i søket i koordinatene til SAR-bildet. For å finne den loddrette linja, er det tilsvarende operasjoner som utføres. Først finnes avstand fra punktet til venstre kant langs linja som ble regnet ut over, og så brukes denne lengden i forhold til hele lengden som forholdstall. Med dette forholdet kan det regnes ut hvor koordinatene til den loddrette linja som går gjennom AIS-koordinatet skal plasseres på de horisontale kantene. Eksempel på slike linjer er også illustrert i figur 3.4.

På samme måte utnyttes forholdstallet på hvor langt ut på kantene AIS-koordinatet projiseres. Dette brukes til å finne rad- og kolonne-nummer i SAR-bildet. Deretter sjekkes

denne posisjonen med bånd 2 og 3 for å finne eksakt plassering. Siden jeg har tilnærmet kantene med rette linjer, er dette koordinatet ikke eksakt riktig. Feilen er ikke stor, så jeg løser dette problemet med å søke etter aktuelt koordinat i bånd 2 og 3 i et vindu rundt rad- og kolonnennummer som er regnet ut. Det tar omtrent 1 sekund per posisjon for å finne pikselkoordinat ved å lete gjennom hele bildet, så det er mye tid å spare på å begrense området en leter i.

### 3.2.3 Overlay og koding av AIS-data

Målet med å transformere koordinatene til SAR-bildets geometri er å lage et bilde som består av AIS-data med samme dimensjon som SAR-bildet. For å visualisere båtbanene er det tegnet streker mellom AIS-båtene. På denne måten er det mulig å visualisere avstand og retning til båtene, og gi et bilde av skipstrafikken i området. I pikselverdiene til disse banene er det lagret informasjon om tid og båtnummer for at det skal være lett å dekode i forbindelse med å koble denne informasjonen med SAR-bildet. I figur 3.5 er det gjort en liten dilasjon samt at hver båt har fått egen farge. Her ser en at det er områder som er mer trafikkert enn andre, og en ser båtbanene som skifter retning i hvert AIS-koordinat.

For å enkelt kunne slå opp båtnavn og informasjon om denne i overlayet, har hver pikselverdi i en båtbane en spesiell kode. Det er benyttet int-verdier, da minne- eller plassbruk ikke er sentralt for å løse oppgaven. Koden er som følger: desimaltall er minutter, ener og tierplassen er time mens de neste sifferne er et nummer på hvilken båt det er. AIS-dataene er anonymisert, så båtnummerne er der kun for å skille dem fra hverandre. For eksempel gir koden 22313.45 følgende informasjon: Båtnavn: 223, time: 13 og minutt: 45.

I tillegg til klokkeslett er det en del andre parametre som vil være aktuelle å ta med som AIS gir. Fart og retning vil gi viktig informasjon, så informasjon om dette er lagt i en egen tabell. Her kan også båttype, størrelse, mmsi eller annen data legges inn på et senere tidspunkt.

## 3.3 Tidsbruk og info om AIS-data

	<i>Id3</i>	<i>Id1</i>	<i>Id8</i>	<i>Id10</i>	Gjennomsnitt
Antall båter	312	164	434	2540	863
Antall koordinater	3510	1139	3230	19142	6755
Kjøretid av program i sek	7.2	6.8	7.2	12.8	8.5
Tid uten søkeposisjon i min	59	19	54	319	113

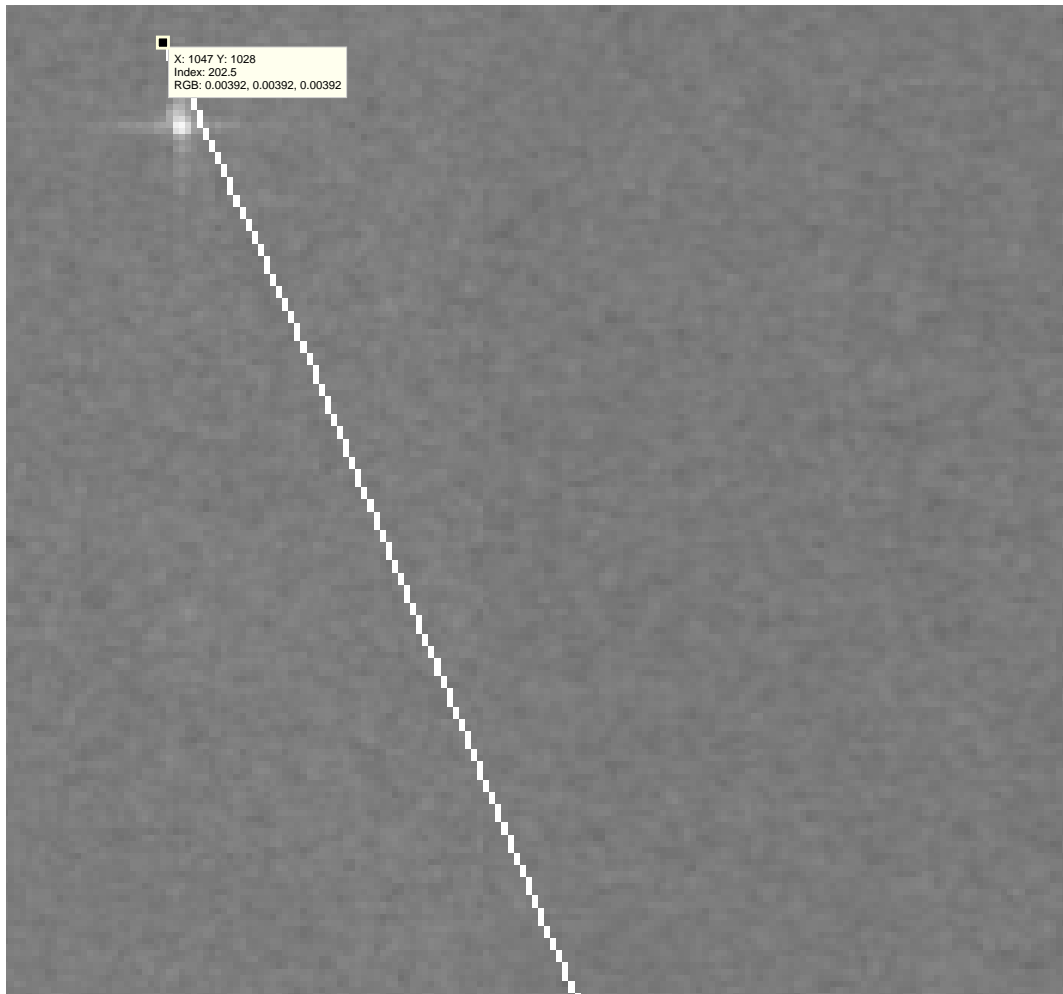
Tabell 3.1: Innhold og kjøretid for endring av koordinater for noen AIS-filer

I tabell 3.1 er det listet opp noen interessante tall fra noen av bildene. Det er brukt samme vindusstørrelse i søket på koordinater, 181x181. Dette fører til at tiden programmet tar er minimal i forhold til ikke å benytte seg av søkeposisjonen.



Figur 3.5: label2rgb for å skille linjene godt fra hverandre





Figur 3.6: Eksempel på AIS-data oppå SAR-bilde

### 3.3.1 Illustrasjon av AIS på SAR

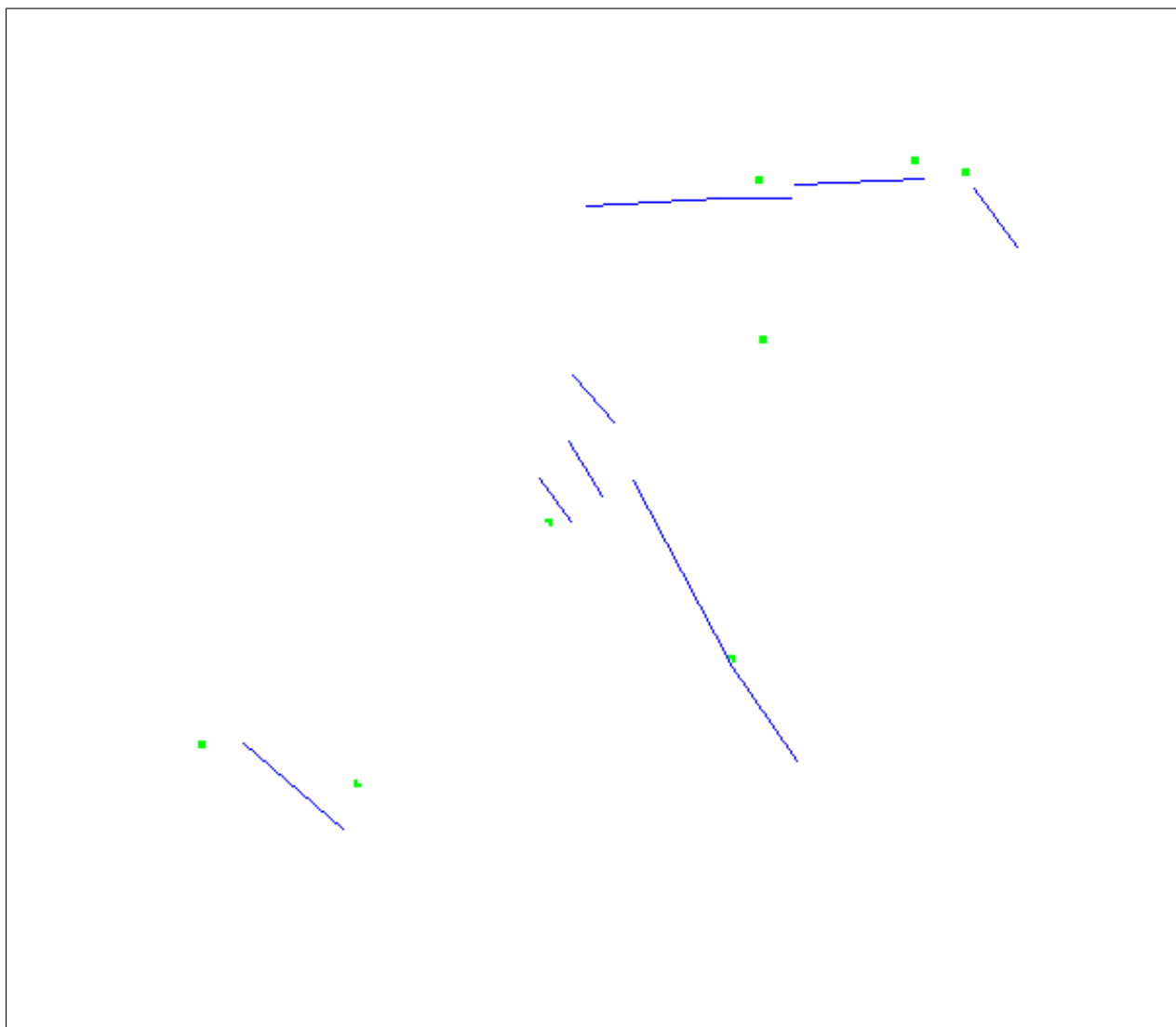
Først la jeg SAR-bildet oppå overlayet. Deretter zoomet jeg inn slik at det var lett å se linjen fra AIS, se figur 3.6. Tidspunktet for SAR-bildet stemmer overens med tidspunktet i båtbanen som er den hvite linja. Skip på SAR-bilder gir sterk tilbakespredning, og blir derfor avbildet som hvite felt. Dette viser at vi kan identifisere denne båten ved hjelp av AIS-dataene, samtidig som vi ser hvilken retning den har hatt.

### 3.3.2 Vurdering av nøyaktighet av AIS på SAR

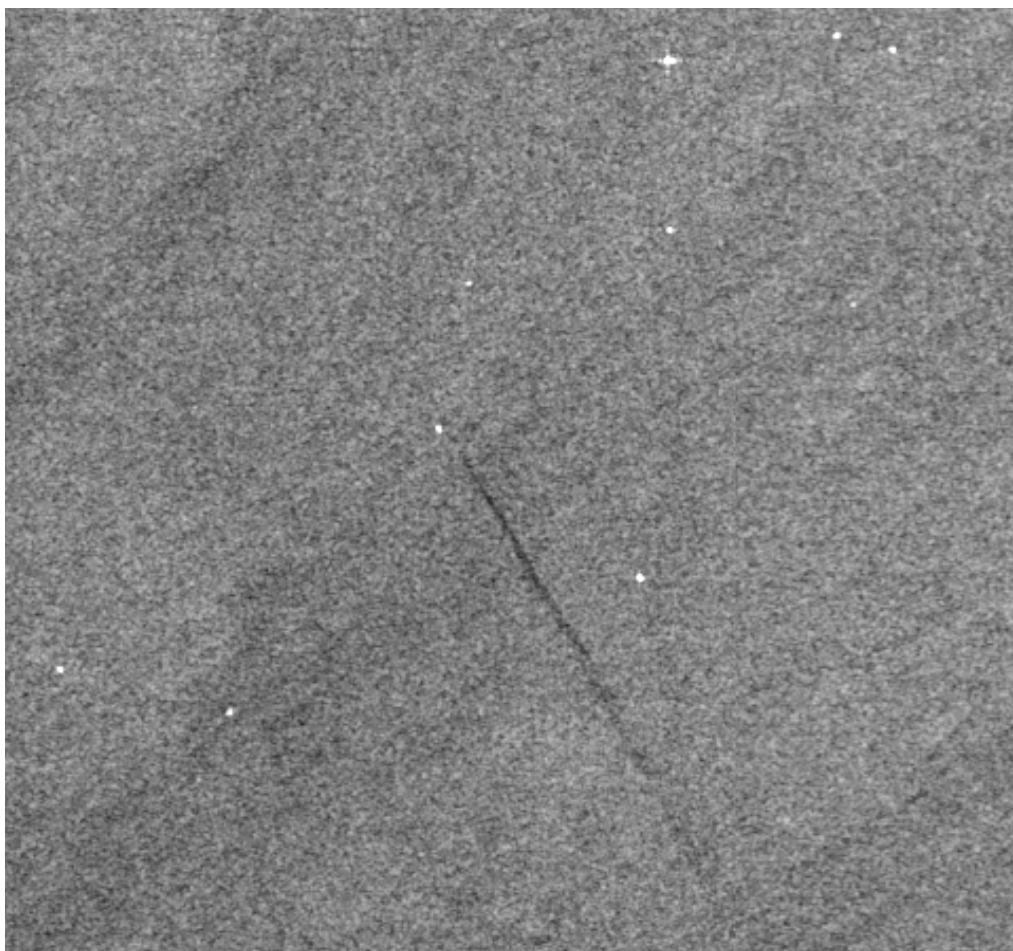
AIS-dataene er ikke helt eksakt i forhold til SAR-bildet. AIS opererer med en nøyaktighet på 0.0001 lengde/bredde-grad, som utgjør omtrent 11 meter ved ekvator. En annen viktig

kilde til feilplassering er fart og retning til skipet idet SAR-bildet blir tatt. Radarsat-2 bruker omtrent ett minutt for å ta SAR-bildene som er brukt her. I løpet av denne tiden vil en båt i fart bli avbildet på feil sted i forhold til SAR-tid. Hvis båten i tillegg beveger seg i en annen retning enn azimuth, vil Doppler-forskyvning inntreffe. Det fører til at båtens posisjon blir forskjøvet i azimuthretning [3].

Siden disse feilene er såpass små i forhold til størrelsen på oljesøl, fant jeg det ikke hensiktsmessig i denne oppgaven å korrigere for disse feilene. Som en kan se i figur 3.7 er det varierende hvilken vei feilene oppstår, og hvor stor den er. Likevel er det greit å koble AIS til båtene på SAR-bildet, figur 3.8.



Figur 3.7: De grønne prikkene er båter, mens de blå strekene er AIS-båter innenfor 20 minutter av tiden bildet ble tatt.



Figur 3.8: Området fra SAR-bildet som er utgangspunkt for figur 3.7

# Kapittel 4

## Automatisk identifisering av kilde

### 4.1 Viktige parametre for å relatere AIS til oljesølkandidater

Neste steg er å lage et program som automatisk oppdager om det har vært en båt i nærheten og innenfor rimelig tid av en oljesølkandidat. Spørsmål som dukker opp da er: Hvor nærme bør båten ha vært, hvilken retning hadde den, hvor lenge siden er det siden den passerte og hvor fort kjørte den. Alle disse parametrene finner jeg informasjon om i AIS-dataene. Hvilke som er viktigst og hva som er fornuftige terskelverdier skal jeg prøve å bestemme fra treningsbildene. Bildene har *id* fra 1-10, og bruker 1, 3, 8 og 10 til å trene programmet, mens 4, 5, 7 og 9 blir brukt til å testing.

Oljesølprogrammet regner ut en rekke egenskaper til hver av de mørke flekkene. De viktigste er listet opp i tabell 2.2. Min oppgave er ikke å klassifisere mørke flekkene som oljesøl eller look-alike, men jeg er kun interessert i de egenskaper som kan ha betydning sammen med AIS-informasjon. Av egenskapene i tabell 2.2 er det nummer 6, det invariante momentet som jeg kommer til å konsentrere meg mest om.

#### 4.1.1 Binære momenter

Det er i hovedsak to typer mørke flekker på SAR-bildene, de som har lineær form, se figur 3.8 og de som ikke er orientert i en spesiell retning (må legge inn et eksempel bilde her). For oljesøl er dette av betydning, for det sier noe om hvordan oljen er sluppet ut. Dersom en båt i fart slipper ut olje, vil det danne seg en stripe med olje. Dersom den står i ro, vil oljesølet danne et bredere felt. For å finne ut om et felt er lineært nok og hvilken retning det har, benytter jeg meg av de binære momentene til objektet i det tersklede bildet. Momentene gir en beskrivelse av sammenhengen mellom piksler i et område. Momentet av orden  $(p+q)$  til objektet med piksler  $f(x, y)$  er gitt ved 4.1

$$M_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \quad (4.1)$$

Vi er ofte interessert i momentet i forhold til massesenteret, så de generelle sentralmomentene er gitt ved 4.2.

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad (4.2)$$

der  $\bar{x} = \frac{M_{10}}{M_{00}}$  og  $\bar{y} = \frac{M_{01}}{M_{00}}$ . Informasjon om orientering til bilde kan utledes fra de andre ordens sentralmomentene 4.3

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}}\right) \quad (4.3)$$

der  $\theta \in [0, \frac{\pi}{2}]$  hvis  $\mu_{11} > 0$  og  $\theta \in [\frac{\pi}{2}, \pi]$  hvis  $\mu_{11} < 0$ . Vinkelen er relativt til aksen som gir lavest treghetsmoment.

Som tidligere nevnt er det ikke alle objekter det gir mening å snakke om retningen til. Et mål på hvor lineært et felt er kan en også finne ved bruk av momenter. Egenskap nummer 6 fra 2.2 er det andreordens rotasjonsinvariante momentet Hu1 4.4

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (4.4)$$

der  $\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{(\mu_{00})^\gamma}$ ,  $\gamma = \frac{p+q}{2} + 1$ .  $\phi_1$  har positive verdier og blir større jo mer lineær form objektet har. Det er en gradvis overgang over hvor lineært objektet er fra 0 – 0.5, men større enn 0.5 er objektet tydelig lineært. Dersom feltet har en lineær form vil det regnes ut orientering, og denne vil sammenlignes med båter i nærheten. Strøm og vind fører til at oljefeltet vil endre form, selv innenfor en time eller to, så jeg bruker en vinkelforskjell på 0.2 radianer som et utgangspunkt.

### 4.1.2 Andre aktuelle parametre

I den eksisterende deteksjonsalgoritmen identifiseres kilder ved at båtene er synlige og i direkte kontakt med oljesøl. Dette skal jeg prøve å videreføre ved å se på historikken til båtene, for å se om en båt kan ha vært i kontakt med et oljesøl før/samtidig som SAR-bildet ble tatt. Jo lenger tilbake i tid en går, jo mer spiller vind, strømminger og deformasjon av oljesøl inn, og det er samtidig mindre sannsynlig å ta synderen på stedet. Det er derfor begrenset hvor langt tilbake i tid det er interessant å se på. Etter å ha lest om oljesøldeteksjon [12] og bruk av AIS ifm. dette [13] prøver jeg meg med 2 timers margin som et startutgangspunkt. Tiden før dette vil dermed være uinteressant, men vil bestemme denne terskelen nærmere etter å ha vurdert SAR-bildene nærmere.

Avstand mellom båtbane og oljesøl er en viktig faktor. Dersom båten er mulig kilde, må den ha vært i nærheten av oljesølet. Om det er lineært eller ikke, bør avstanden til senteret av oljesølet være avgjørende. Dette forenkler også oppgaven, og samtidig antar jeg at i løpet av tidsdifferansen jeg jobber med vil ikke olje ha drevet langt avgårde. Det vil derfor være begrenset avstand fra båt til oljesenteret. Hvor stor denne avstanden kan være avhenger av vind, strømminger, feilmargin i AIS-informasjon og tidsforskjell. Over kom jeg fram til at tiden bør settes til 2 timer. I løpet av denne tiden er det begrenset hvor langt olje driver avgårde. For å kunne ta bilder der oljesøl kan identifiseres, kan det ikke være for sterk vind. Med vind over omtrent 10-12 m/s vil oljen ikke ha den dempende effekten på Braggbølgene,

slik at oljen ikke vil synes på SAR-bildet. Som et utgangspunkt velger jeg 20 piksler som maksavstand. Denne avstanden er valgt på bakgrunn av visuell tolkning av SAR-bildene med AIS-data lagt oppå.

Til lineære felt må båten ha en viss hastighet slik at når oljen blir sluppet ut ligger den i en stripe bak båten. For å danne mer sirkulære felt må båten ha vært tilnærmet stasjonær i tidsrommet for utslippet. Vanligst dannes slike utslipp også ofte rundt oljeplattformer. Disse kildene kan dermed allerede identifiseres på SAR-bildet med informasjon om posisjon til oljeplattformer i aktuelt område. Som en startverdi til trening av algoritmen, bruker jeg ett piksel per minutt som en øvre terskel på båt i ro. Dersom det blir aktuelt, kan det være aktuelt å gå lenger tilbake i tid dersom farten er lav.

### 4.1.3 Visuell inspeksjon

For å trene programmet mitt har jeg gått gjennom de 4 treningsbildene og sett på hvordan de mørke flekkene ser ut, hvilke som ser ut som olje og hva slags form de har. Det er som regel greit å identifisere oljesøl som er lineære, men de forekommer ikke ofte. Det er omtrent ett lineært oljesøl på hvert bilde. Andre områder ser mistenkelige ut men det er også mange mørke felter som opplagt kommer av lav vind eller andre naturlige fenomener.

I tabell 4.1 har jeg fylt ut hvilke paramterverdier jeg har benyttet i treningen, og hva jeg har kommet fram til av terskelverdier. Det er altså 4 bilder som blir brukt til å tilpasse

	<i>Id1</i>	<i>Id3</i>	<i>Id8</i>	<i>Id10</i>	Terskler
Avstand i piksler	20	25	25	25	25
Vinkelforskjell i rad	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Tidsforskjell i min	120	120	120	120	120
Fart i piksler/minutt	1	5	5	5	5
Hu1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Tabell 4.1: Parametre med terskler fra treningsbilder, der verdiene i de 4 første kolonnene er satt utfra aktuelt bilde. Terskelverdiene til høyre skal brukes i testing av algoritmen, så disse er satt på bakgrunn av treningsbildene.

terskelverdiene. Etter at disse er satt, blir algoritmen testet på de 4 siste bildene som fungerer som testbilder.

## 4.2 Algoritmen

Nå har jeg forklart hvilke parametre som er interessante, og her kommer en beskrivelse av hvordan jeg har gått fram for å lage en automatisk algoritme:

- Hent ut et mørkt felt funnet ved hjelp av oljesøldeteksjonsalgoritmen.
- Finn koordinatene, senteret og Hu1.

- Let i et vindu, som er større enn avstandsterskel, rundt feltet etter AIS-data.
- For hver piksel:
- Dersom det eksisterer AIS-data i vinduet rundt, er første test om avstanden til senteret er innenfor terskelverdi.
- Dersom avstanden er innenfor, sjekkes tiden.
- Dersom tiden er innenfor og  $Hu1$  er over terskel, sjekkes orientering til båt i forhold til feltet.
- Dersom orienteringen er innenfor, merkes feltet, og båtinformasjon lagres. Gå tilbake til 4.
- Dersom orienteringen er utenfor, gå tilbake til 4
- Dersom tiden er innenfor og  $Hu1$  er under terskel, sjekkes fart til båt.
- Dersom fart er innenfor, merkes feltet og båtinformasjon lagres. Gå tilbake til 4.
- Dersom fart er utenfor, gå tilbake til 4.

## 4.3 Diskusjon av utvalgte områder

For å velge parameterverdier har jeg manuelt sjekket mørke flekker som jeg mistenker for å være oljesøl. For disse flekkene har jeg vurdert hva algoritmen gir som resultat, og har sjekket AIS-dataene til aktuelle båter i området. Dersom feltet ikke blir registrert med kilde sjekkes det hvilke parametre som ikke blir tilfredsstilt. Det gjøres deretter en vurdering av om aktuell terskel bør justeres.

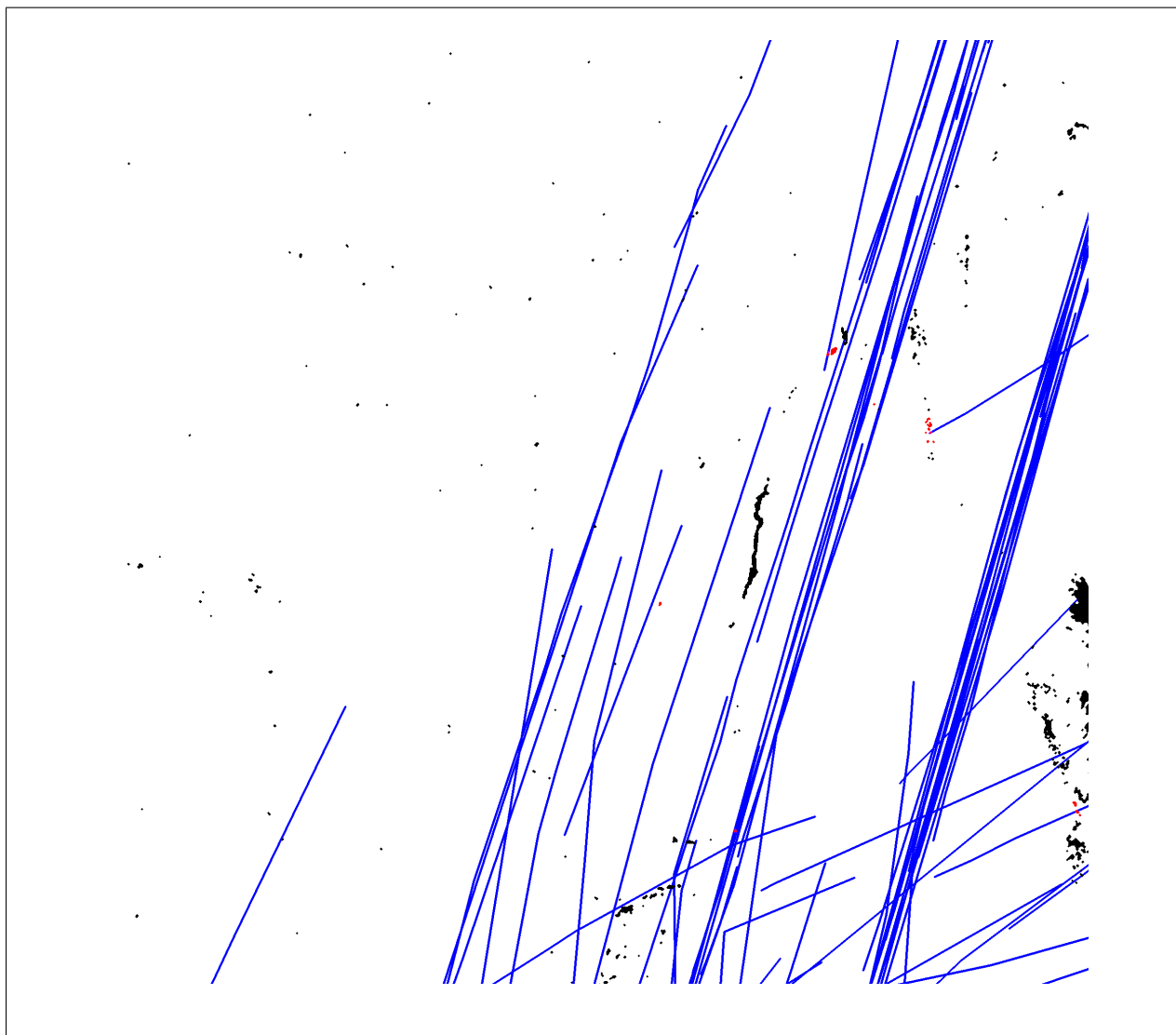
### 4.3.1 *Id1*

Figur 4.1 er et utdrag fra det første SAR-bildet. Øverst omtrent midt i bildet er det et felt som antakeligvis er et oljesøl. Jeg har brukt parametrene som jeg har notert i tabellen 4.1 i kolonnen til *id1*. Jeg har visualisert resultatet av kjøring av algoritmen i figur 4.2. Her er båtbaner fra AIS blå streker, sorte felt er mørke flekker som ikke er merket, mens røde felt er mørke flekker der programmet mitt har slått fast at det er en mulig kilde. Ser at det eneste antakelige oljesølet på dette bildet ikke er tilordnet en kilde. Som vi kan se av båtbanene, er det lang avstand til nærmeste båt, så her vil det ikke være mulig å tilordne en kilde. På SAR-bilde i figur 4.1 er det ikke noen båter i nærheten, som stemmer bra med AIS-dataene. De røde feltene er gitt en kilde, for de oppfyller kravene til parametrene. Selv om disse feltene antakelig ikke er oljesøl, vil det ikke ha mye å si om disse blir tilordnet kilde. Det vil alltid være et steg med klassifisering, og tilslutt manuell inspeksjon for å slå fast hvem som er kilden. I figur 4.3 har jeg forstørret området rundt det mulige oljesølet.



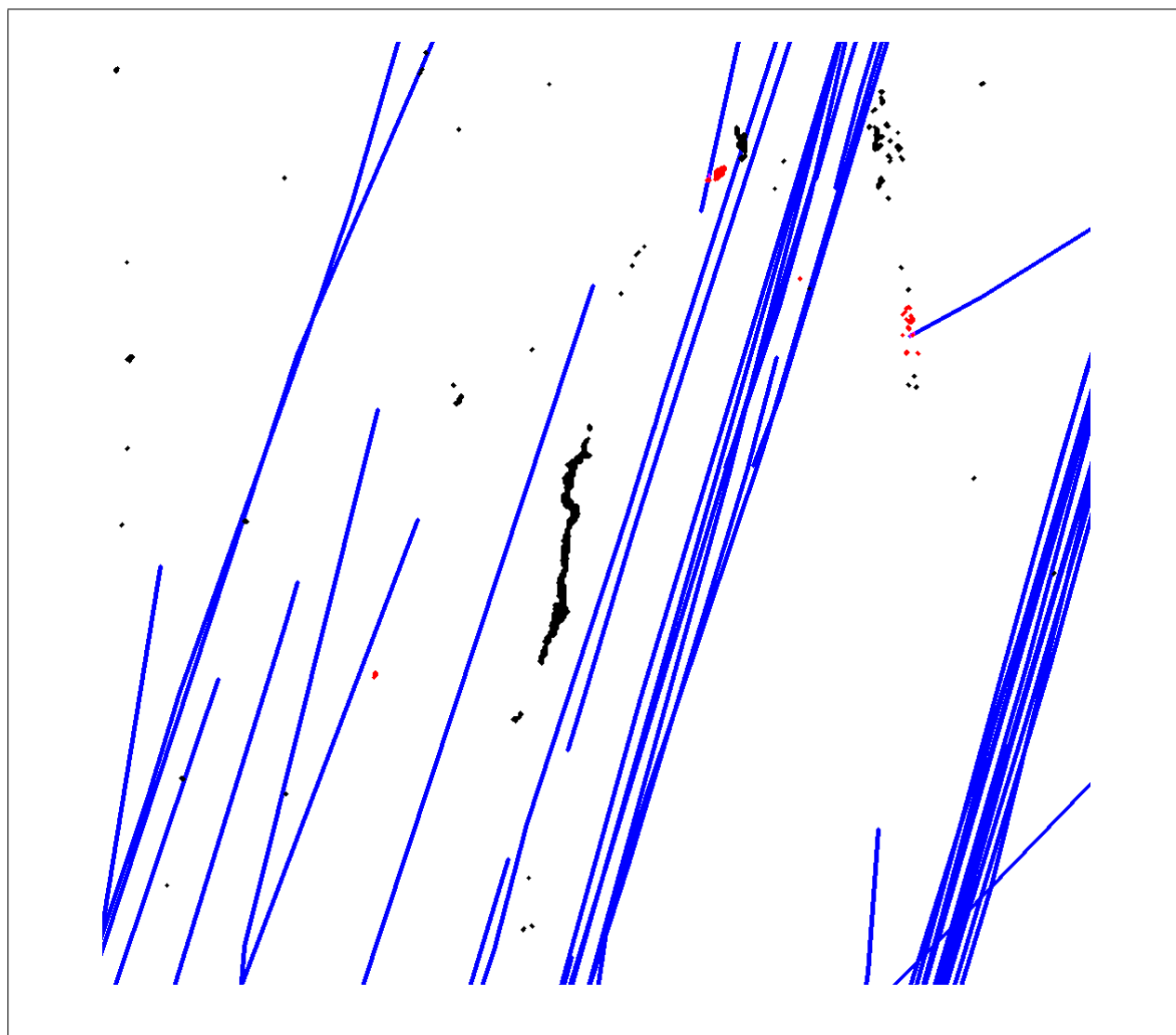


Figur 4.1: Utdrag fra SAR-bilde *Id1*



Figur 4.2: Aisbaner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorte) mørke flekker

Avstanden er omtrent 50 piksler til nærmeste båt, og det er i tillegg mer enn 2 timer siden den passerte. Oljesølet ligger dessuten i et trafikkert område, så her er det ikke noe poeng å øke terskelverdiene.



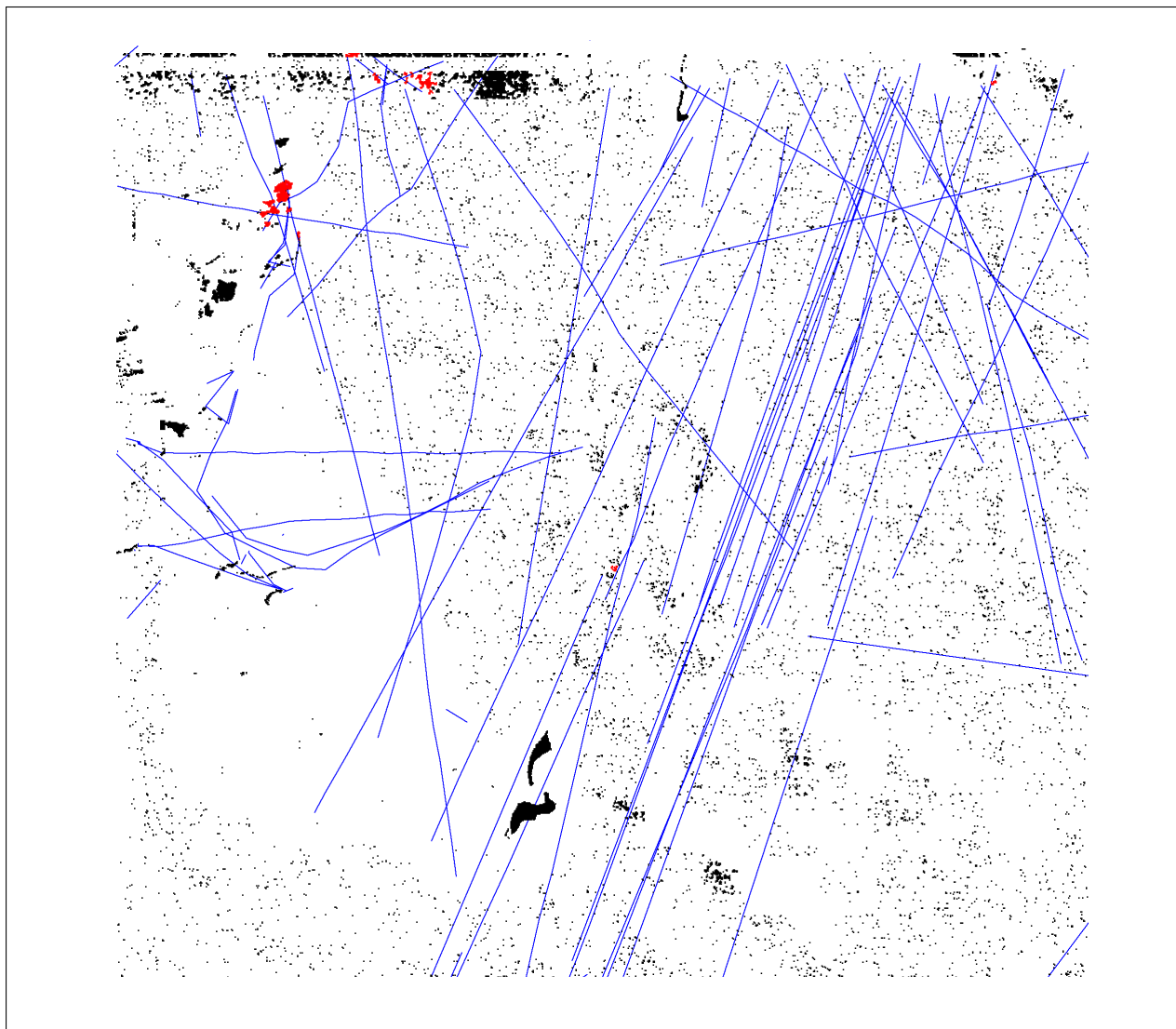
Figur 4.3: AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sort) mørke flekker

### 4.3.2 *Id3*

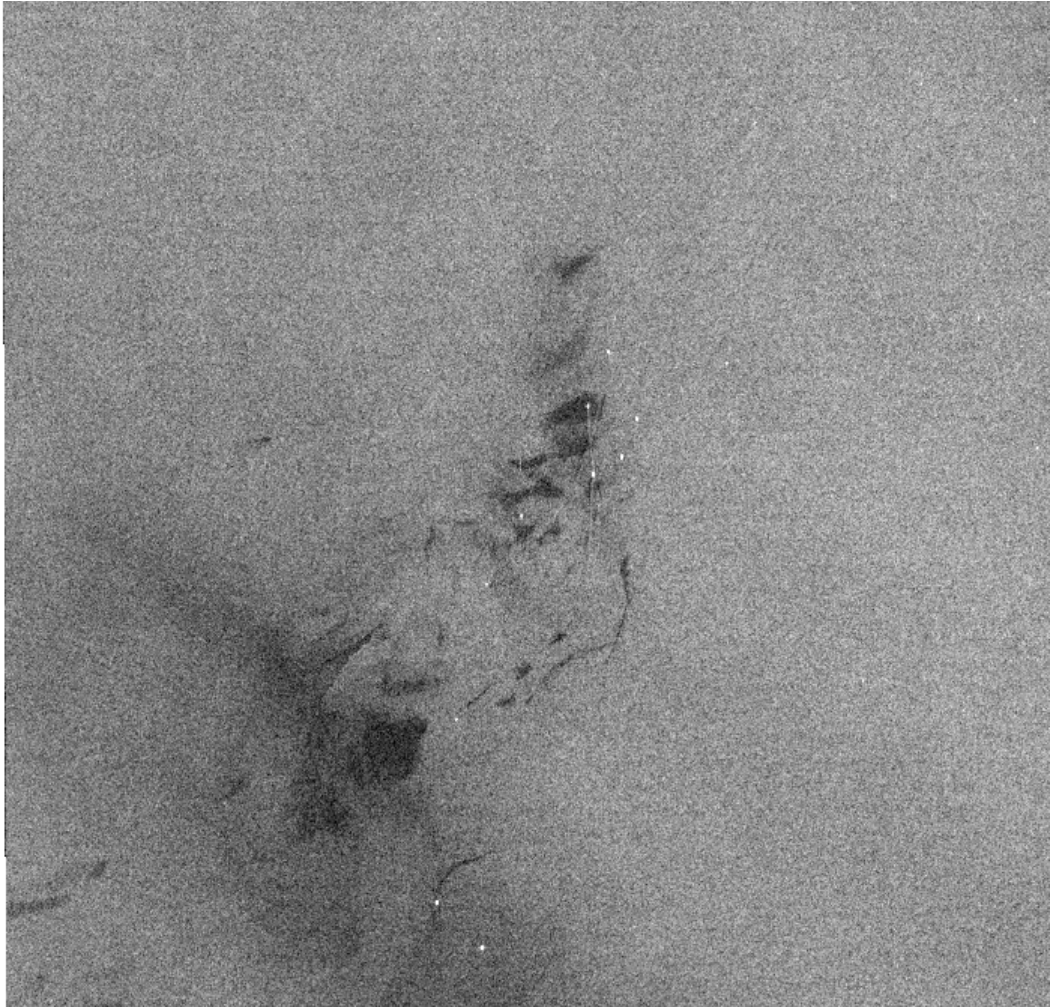
Det er flere av flekkene som ser mistenkelig unaturlige ut i SAR-bilde *id3*, se figur 4.4 med tilhørende resultater fra algoritmen i figur 4.5. I dette utsnittet av SAR-bildet, er det en rekke mørke flekker. Jeg har sett nærmere på fire av områdene der det ser ut til å være oljesøl.



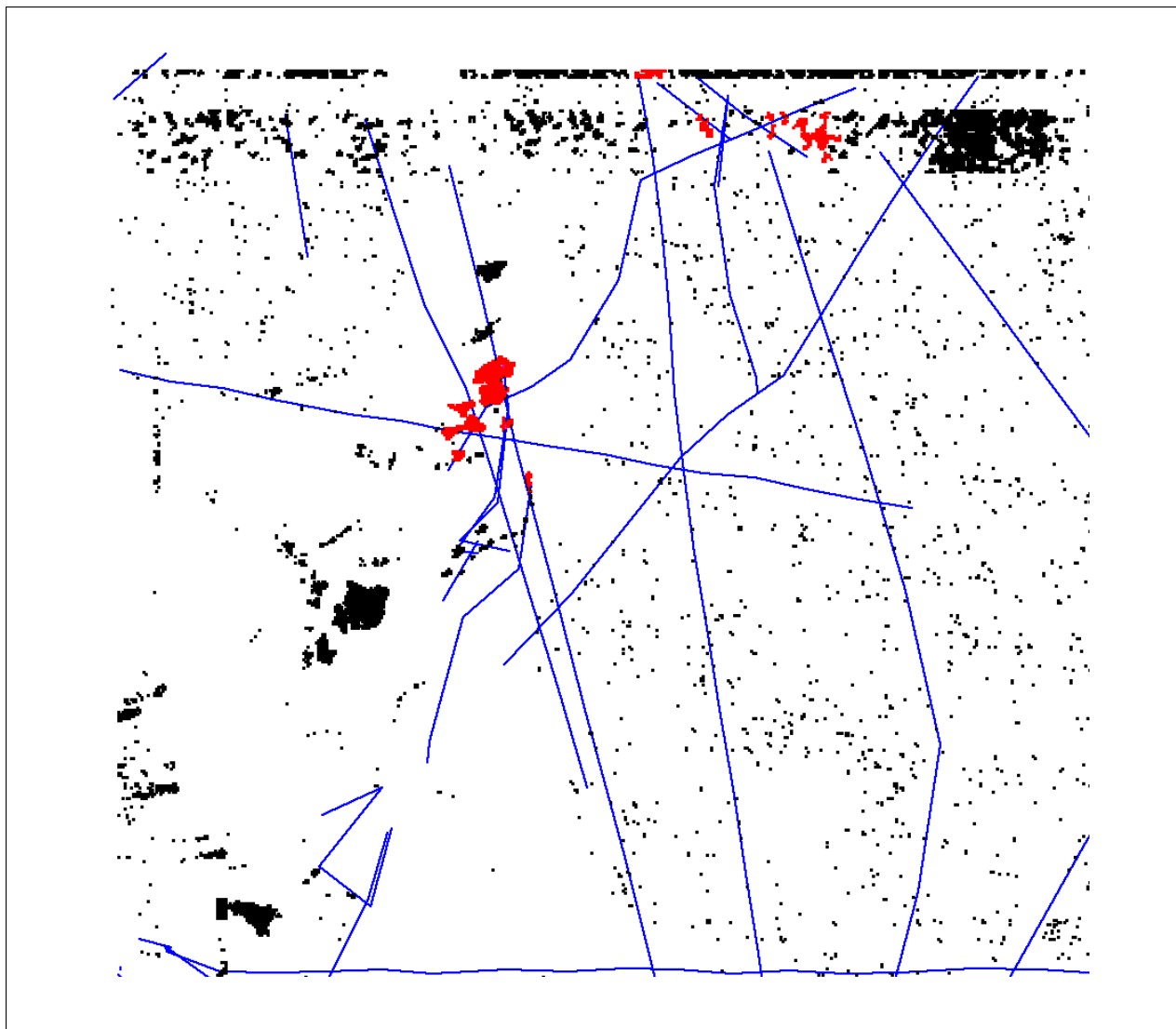
Figur 4.4: Utdrag fra SAR-bilde *Id3*



Figur 4.5: AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorte) mørke flekker



Figur 4.6: Utdrag fra SAR-bilde *Id3*



Figur 4.7: AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorte) mørke flekker

I Figur 4.6 med tilhørende resultat i figur 4.7 er det oppdaget kilder til de mørke flekkene i midten. Vi ser av SAR-bildet at de mørke flekkene ser mistenkelige ut samtidig som det er synlige båter. I figur 4.8, som er forstørret versjon av samme område, er det registrert kilde til 6 oljesølkandidater, merket A-F. Her er det i tillegg en rekke båter som har passert, og jeg har lagt inn tider og båtnummer til skipene som algoritmen muligens har detektert. Jeg oppjusterte grensen på farten til 5 piksler per minutt (p/m), for på dette bildet var det for lite med 1 p/m.

For felt A ble det registrert 2 kandidater til kilde. Båt nummer 90 er innenfor tidsgrensen med avstand på 30 min, har avstand på 10 piksler til sentrum på det nærmeste, og har en fart på 1.3 piksler per minutt. Feltet har en bred form med  $Hu1$  på 0.2, så her er retningen til batbanen ikke blitt sjekket. Båten oppfyller dermed alle krav, og fører til at feltet blir merket med kilde. I figuren er det merket av tidene og farten til denne båten, som har en bane som stopper i feltet. Båt nummer 73 er også blitt identifisert av algoritmen. Den er også innenfor på tid, avstand og fart. Spørsmål som dukker opp her er om det går an å avgjøre manuelt hvilken av disse 2 båtene som er den egentlige kilden, dersom vi antar at feltet er et oljesøl. Dersom begge er plausible kilder, kan vi beholde parameterverdiene, men for en automatisk tilordning av kilde bør sannsynligheten for at synderen kan tas i dette tilfellet minke.

Felt B og C er egentlig ett felt, som gjør at  $Hu1$  er bare 0.3. Det er igjen båt 73 som er registrert her, og farten har minket til 1.9 p/m.

Felt D har  $Hu1$  på 0.2 og 3 båter er registrert. Det er 73, 79 og 90 som alle er merket på figuren. 79 og 90 har en bane som går gjennom sentrum med langsom fart, mens 73 er 22 piksler unna sentrum. Dette er helt i grenseland og jeg oppjusterer med dette terskelverdien til 25. Grunnen til at dette gjøres er fordi 73 er registrert i alle feltene til nå.

Felt E har  $Hu1$  på 0.2 med 73 som mulig kilde. Igjen er det avstand, tid og fart som har vært avgjørende. I dette tilfellet kan en antakelig peke på denne båten som kilde hvis feltet blir klassifisert som olje.

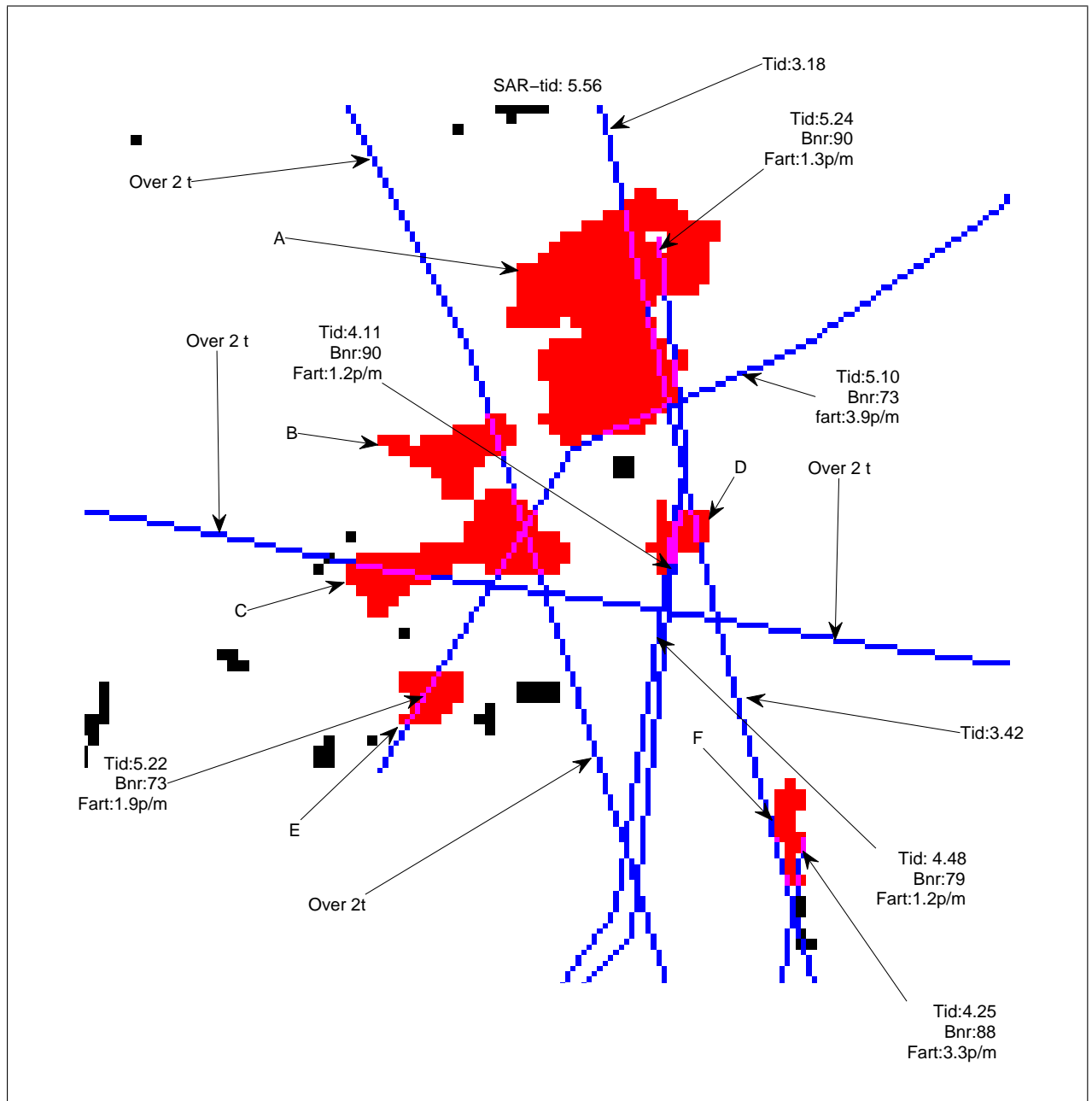
Felt F har  $Hu1$  på 0.4 er akkurat utenfor grensen til å bli klassifisert som lineær. Det er avstand, tid og fart som har vært avgjørende.

Figur 4.9 er et annet område fra *id3* med mistenkelige mørke flekker. Her er det dessuten mange hvite punkter som tyder på et område med oljeplattformer og/eller skip. Jeg har brukt samme metode for å vurdere resultatet av algoritmen, ved å sette på relevant informasjon til aktuelle båtbaner på figuren 4.10. Her har det vært stor trafikk tidligere på natten, men omtrent samtlige aktuelle kandidater blir stoppet av tidsgrensen på 2 timer. Båt 81 er den eneste båten som er innenfor tidsmessig, men blir utelukket pga. avstand på 40 piksler.

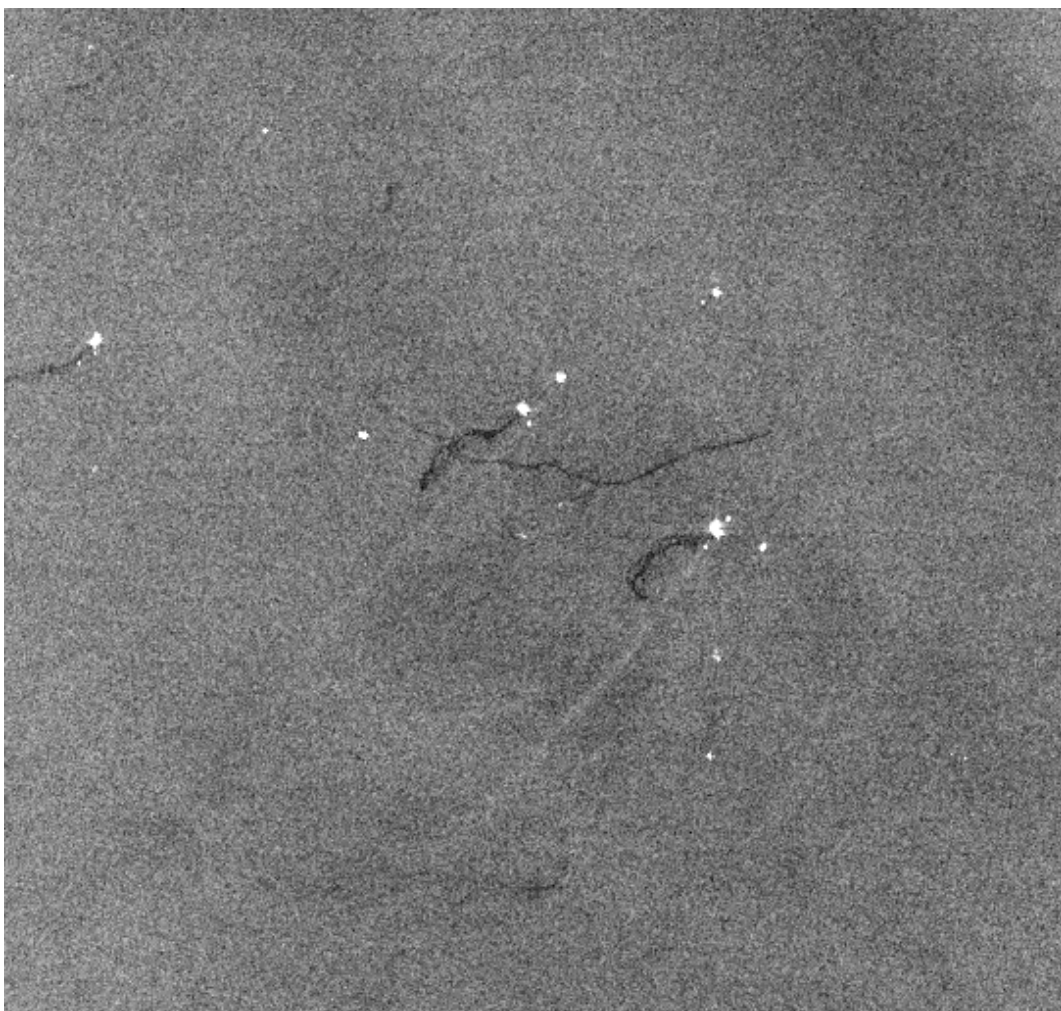
Figur 4.11 viser 2 større mørke flekker, og har plottet AIS-dataene til dette området i figur 4.12. Her er det 2 aktuelle båtbaner som har passe retning og avstand. Grunnen til at feltet ikke er merket er at tidsdifferansen er for stor. Disse 2 båtene er dessuten ikke avbildet i SAR-bildet, for de var for langt unna da bildet ble tatt.

Siste eksempel fra *id3* er fra området i toppen av SAR-bildet, figur 4.13 med tilhørende resultat fra algoritmen i figur 4.14. Som bildet viser, ble ikke feltet koblet med en potensiell kilde. Jeg har sjekket dataene til båtbanene rundt, spesielt de 2 nærmeste. Der har jeg satt på tider. Den nærmeste blir utelukket pga. tidsforskjellen, men den andre blir utelukket pga.

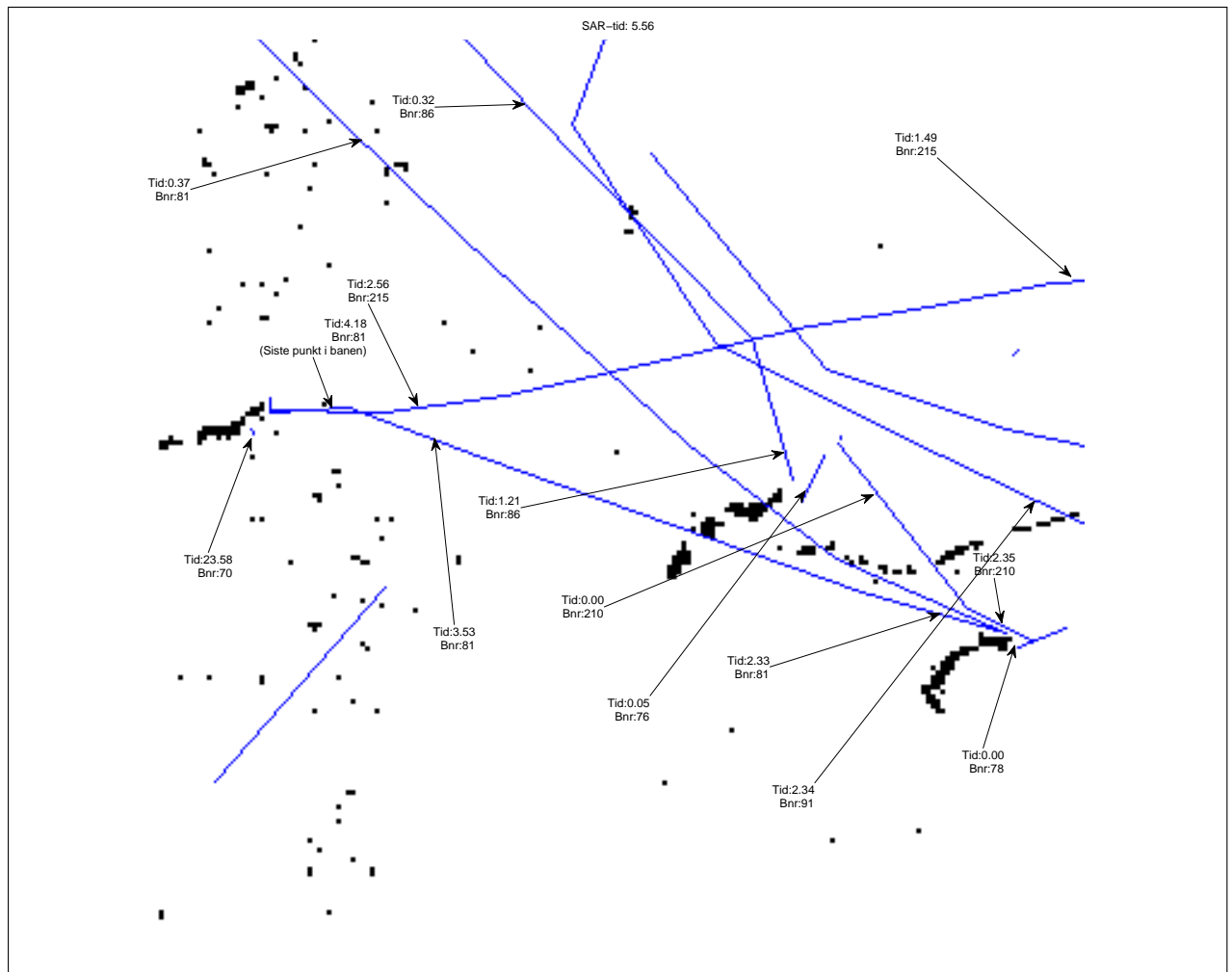




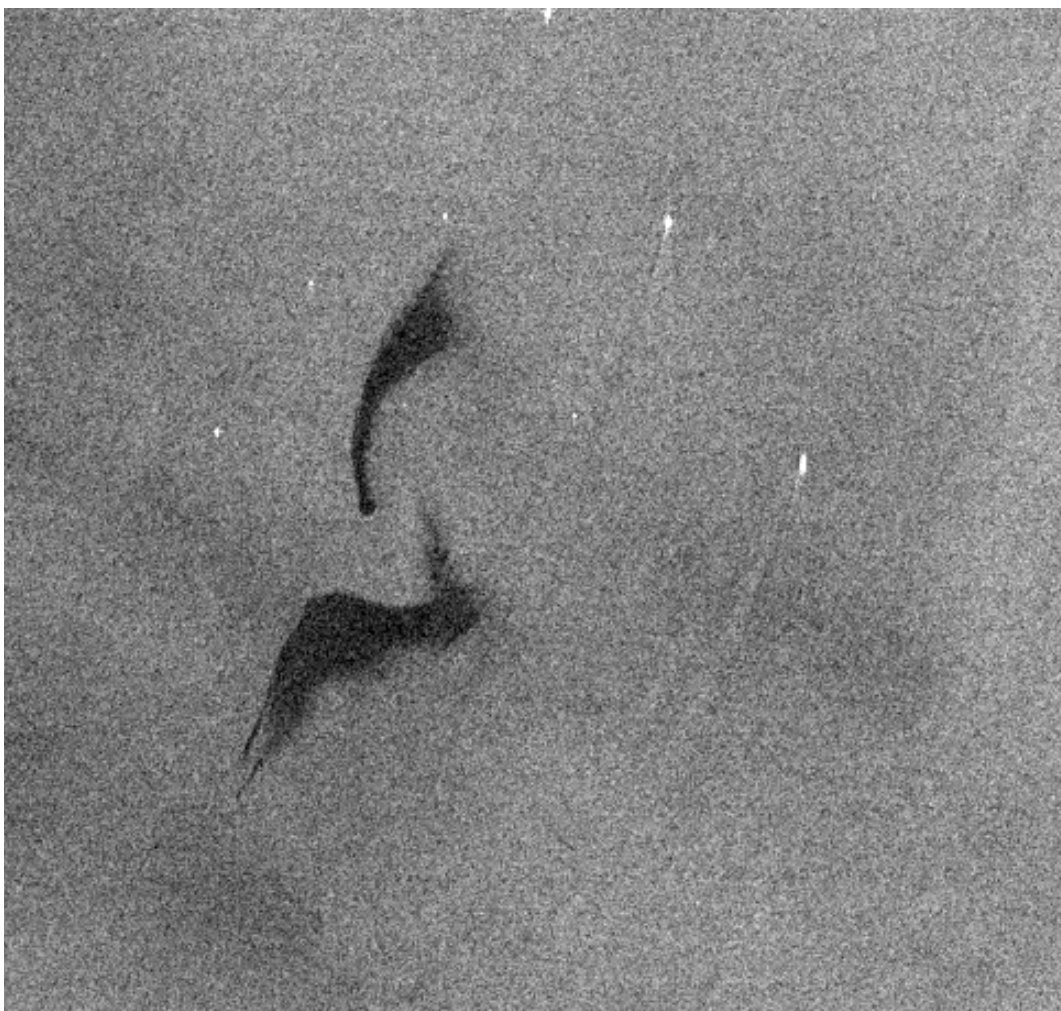
Figur 4.8: AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorte) mørke flekker. Tidene til båtene samt fart hvis aktuelt og retning



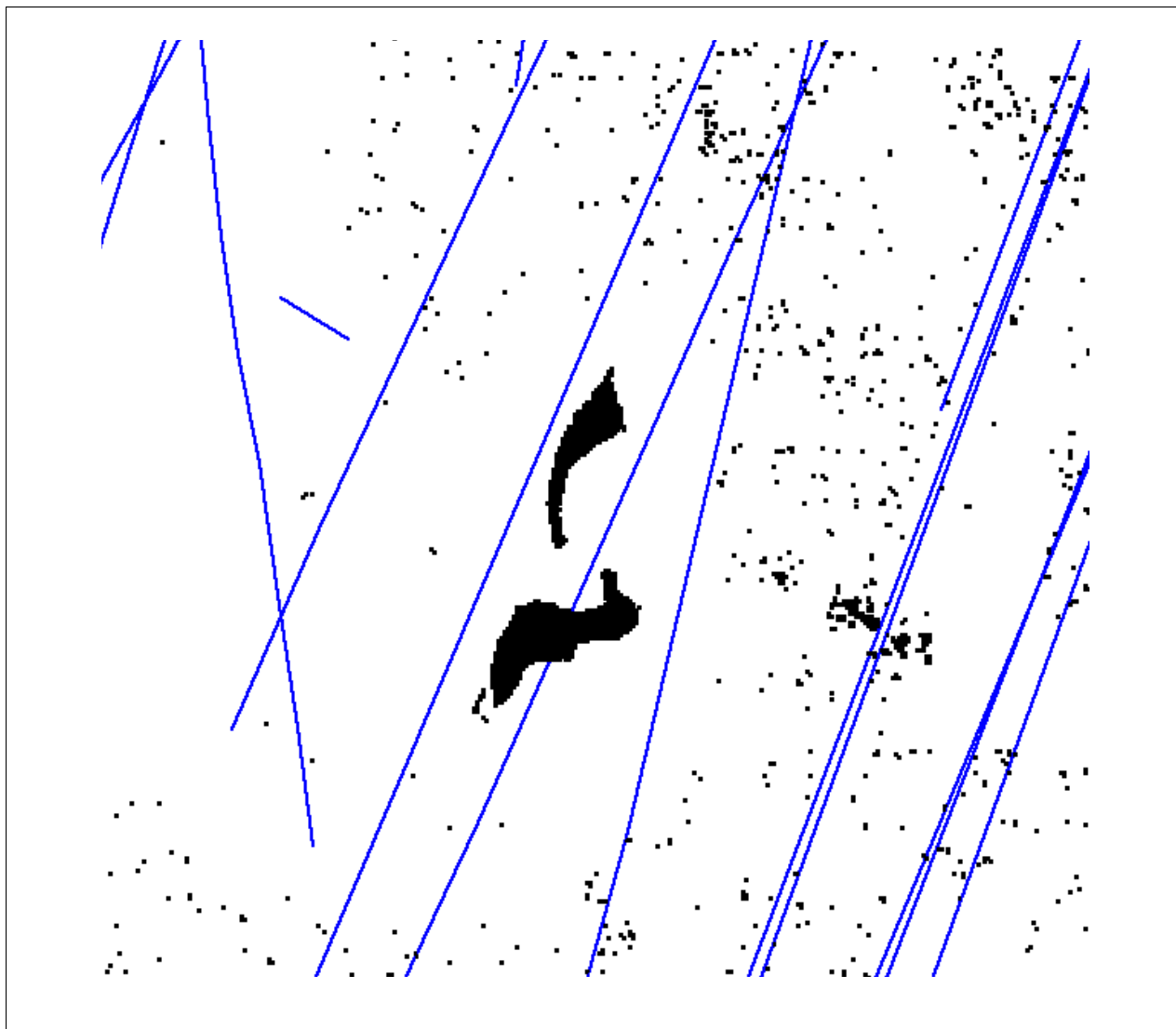
Figur 4.9: Utdrag fra SAR-bilde *Id3*



Figur 4.10: AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sort) mørke flekker



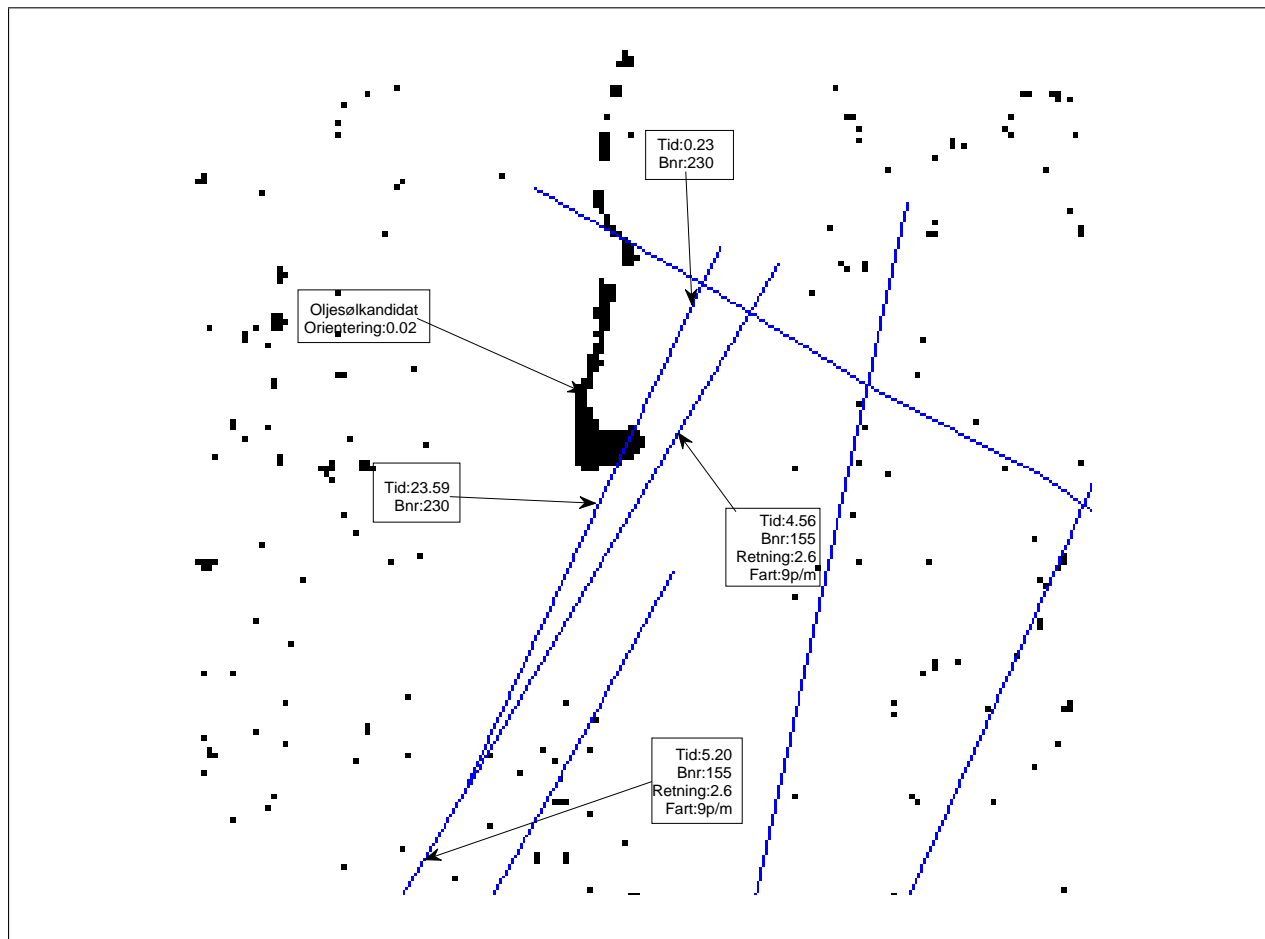
Figur 4.11: Utdrag fra SAR-bilde *Id3*



Figur 4.12: AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sort) mørke flekker



Figur 4.13: Utdrag fra SAR-bilde *Id3*



Figur 4.14: AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorte) mørke flekker

for stor vinkelforskjell. Dersom en antar at flekken er et oljesøl, kan det se ut som det har passert en del tid siden utslippet. Feltet er nemlig deformert, og kan ha endret orientering ettersom strømmer og vind har fått oljen til å flytte seg. Med den begrunnelse kunne både 155 og 230 vært aktuelle kandidater, men det blir fort veldig mange kandidater hvis jeg skal øke terskelverdiene. Jeg måtte ha økt vinkelforskjellen til 0.5 radianer i dette tilfellet for å fange opp båt 155. Det synes jeg er for stor forskjell til å generelt kunne koble retningene sammen.

### 4.3.3 *Id8*

Figur 4.15 og 4.16 viser et oljesøl i SAR-bilde *id8*. Oljesølet har en lineær form, og ser at en av skipsleiene har samme retning. Den oppfyller kravet på 0.2 radianer, for forskjellen er omtrent 0.15. Eneste problemet, og grunnen til at flekken ikke blir registrert med mulig kilde, er at det er for stort avvik i tiden. Bildet ble tatt 17.14, mens båten forlot oljesølet 11.33. Et viktig steg i deteksjon av synder til oljesøl, er at et overvåkningsfly kan verifisere og identifisere skipet.

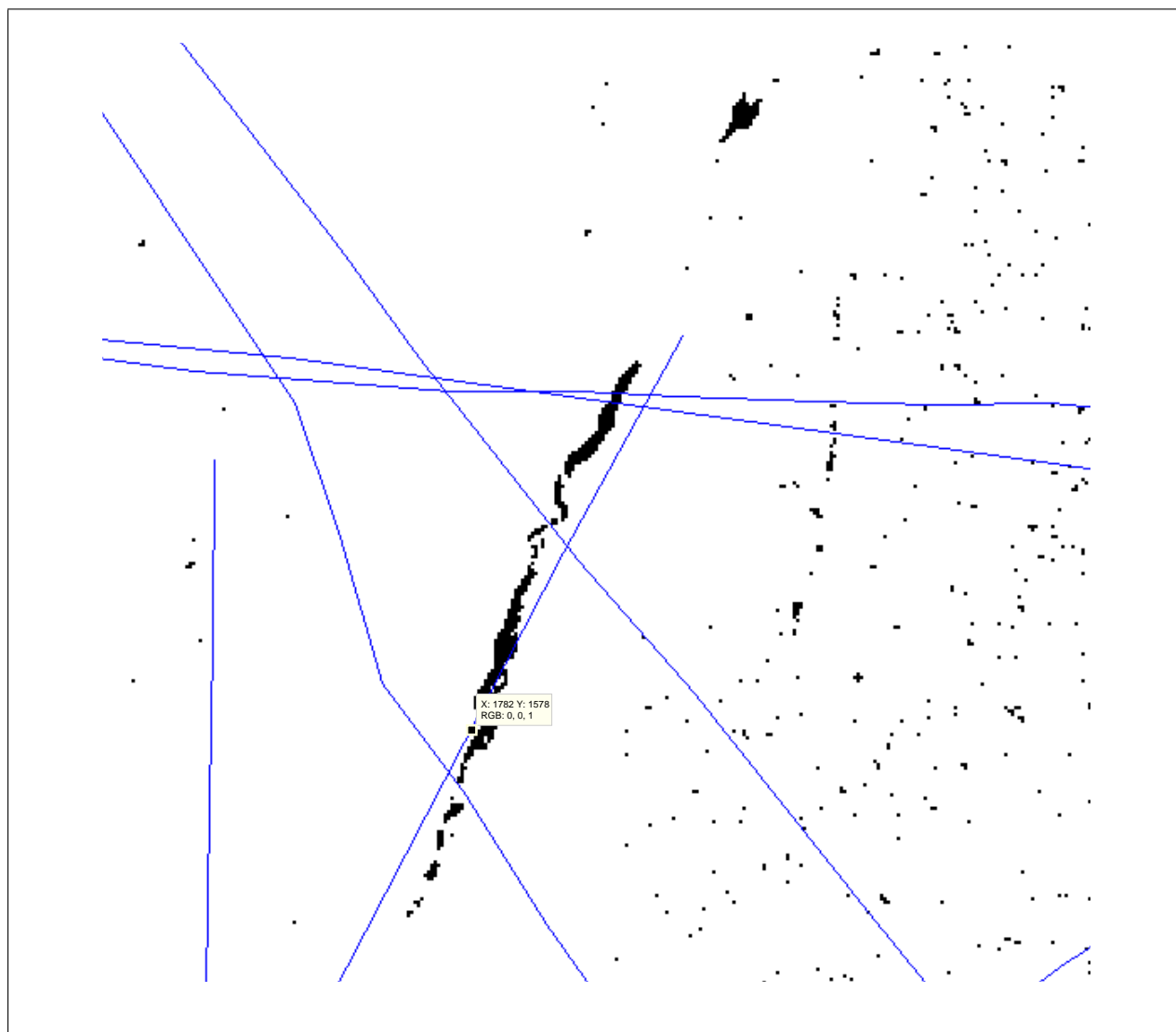
### 4.3.4 *Id10*

I figur 4.17 er det et oljesøl omtrent midt på bildet. I figur 4.18 har jeg zoomet inn på dette oljesølet, og forventer at programmet skal oppdage båten som en kan observere i forkant. Som forventet, blir feltet merket som en kan se i figur 4.19. Det er kun 1 båt som fører til merkingen, og det er den med piler på i figuren, båt nummer 201. Der står det også tidene, og den øverste samsvarer med SAR-bildets. Feltet har  $Hu1$  på 0.9 med orientering 0.56. Retningen til båt 201 er 0.46, så vinkelforskjellen er godt innenfor 0.2 som er terskelen. Jeg beholder terskelen på 0.2 for å fange opp tilfeller der vind og strøm har endret litt mer på orienteringen til oljesøl. Ser at de andre båtbanene er uaktuelle pga. tid for båtene 1355, 1322 og 832, og retning for 321.

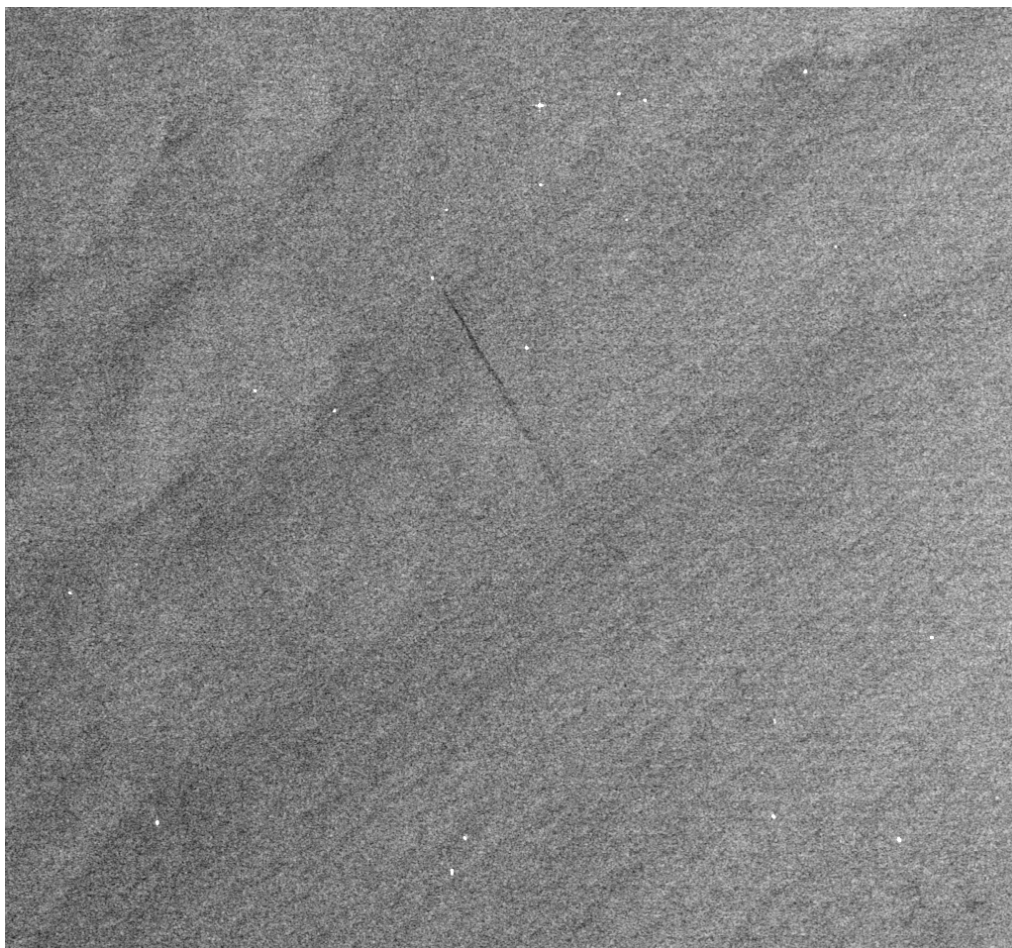




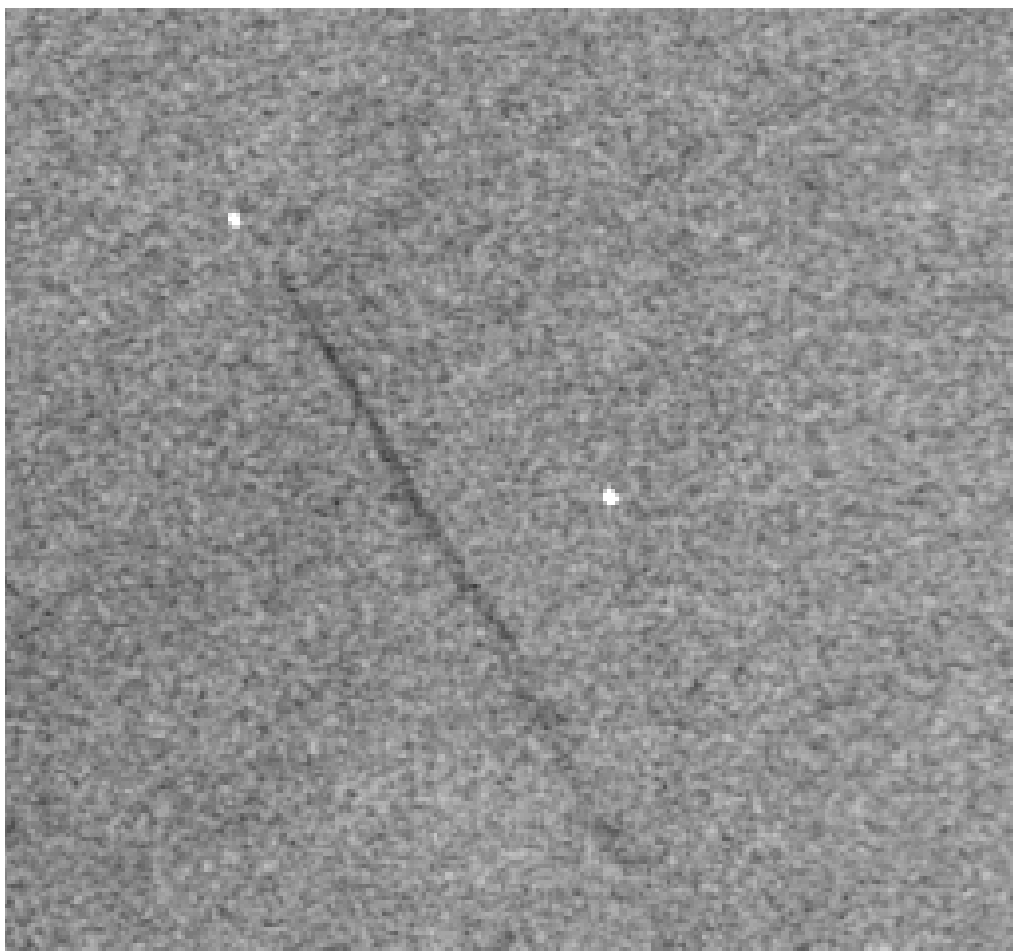
Figur 4.15: Oljesøl fra SAR-bilde *id8*



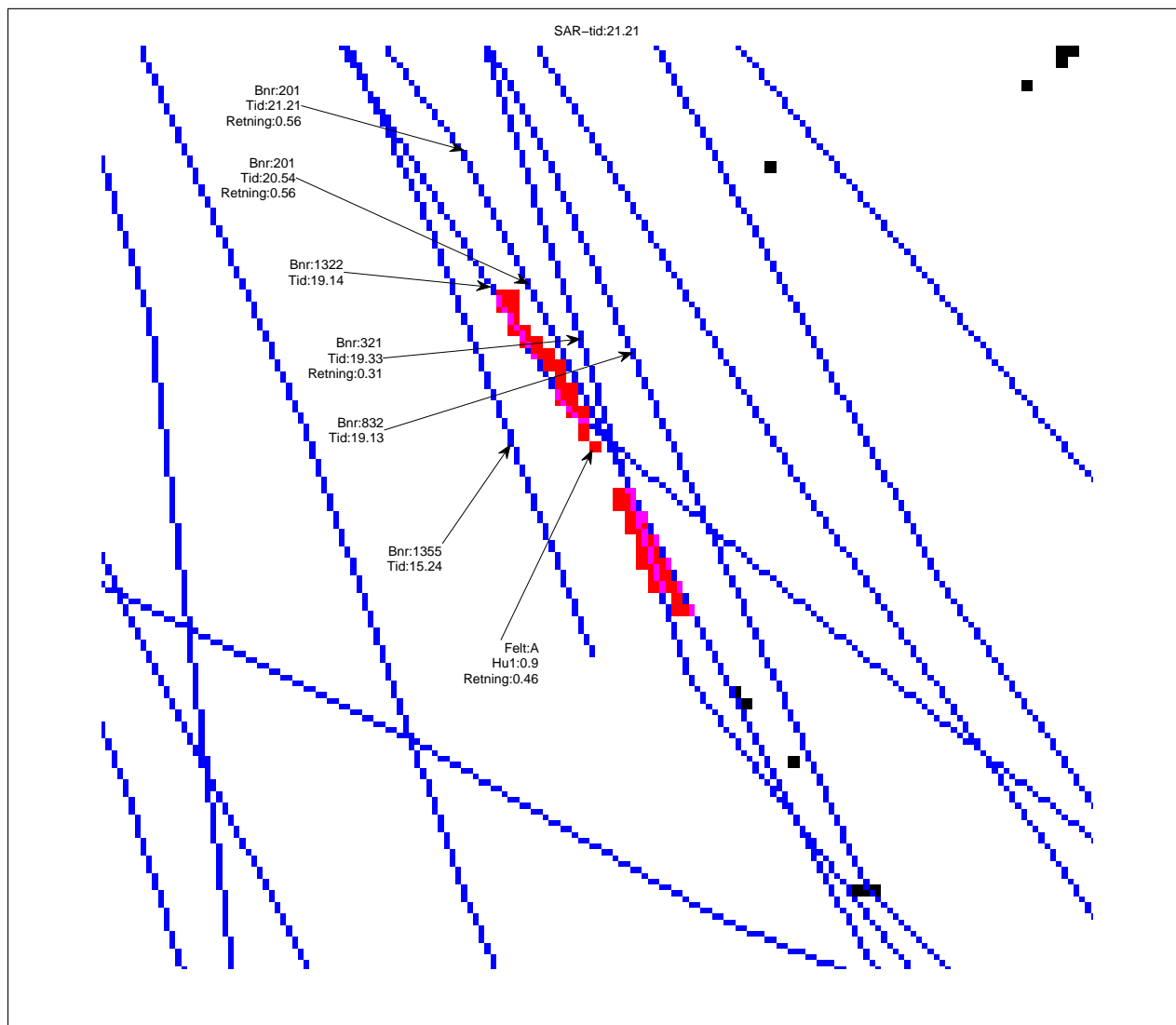
Figur 4.16: AIS-baner(blå) med merkede(rød) og umerkede(sorte) mørke flekker



Figur 4.17: Eksempel på at det tilordnes en kilde til et lineært felt



Figur 4.18: Eksempel på at det tilordnes en kilde til et lineært felt



Figur 4.19: Eksempel på at det tilordnes en kilde til et lineært felt med informasjon til mulig synder, bnr 201, og de andre aktuelle kandidatene. Feltet er delt i 2 i segmenteringen, og det er båt nummer 201 som er kilde til begge.

## 4.4 Resultater fra testbildene

Jeg har ved hjelp av de 4 bildene *id1*, *id3*, *id8* og *id10*, kommet fram til et sett med terskelverdier til parameterne i tabell 4.1 som algoritmen bruker til å automatisk detektere kilde til potensielt oljesøl. Hvor bra algoritmen virker skal jeg se nærmere på nå, ved å analysere resultatet av kjøring på de 4 siste bildene, *id4*, *id5*, *id7* og *id9*. Det vil være 2 typer feil algoritmen kan gjøre: flekker som er mulig oljesøl og som burde hatt AIS som ikke får det, og AIS som tilordnes flekker feilaktig. Jeg kommer til å fokusere mest på mørke flekker som jeg tolker til å være oljesøl, siden de er de mest interessante for eksisterende deteksjonsalgoritme. Det blir sjekket hva programmet har konkludert med, samtidig som det gjøres en manuell vurdering om resultatet er riktig.

### 4.4.1 *id4*

I SAR-bilde *id4* fant jeg fram til 3 potensielle oljesøl, men ingen av dem ble koblet med en kilde. Ved inspeksjon av AIS-dataene til båter i nærheten, konkluderte jeg med at programmet gjorde riktig avgjørelse på alle 3. På det ene feltet har jeg visualisert feltet med båtbanene rundt i figur 4.20 og 4.21. Der er det opplagt at det ikke er mulig å koble en båt til feltet. Ved tilsvarende analyse av de 2 andre oljesølkandidatene, konkluderer jeg med at algoritmen fungerer som den skal på dette bildet.

### 4.4.2 *id5*

Figur 4.22 med tilhørende resultat i figur 4.23 viser igjen at programmet gjør riktig ved å ikke tilordne feltet en kilde. Ved sammenligning av SAR-bildet sammen med AIS-dataene kan en i tillegg konkludere med at noen av de hvite feltene i SAR-bildet enten ikke bruker AIS eller er oljeplattformer.

Figur 4.24 viser et annet område av *id5* der det er en mistenkelig mørk flekk. Segmenteringsprogrammet har i dette tilfellet delt flekken opp i mindre biter, og algoritmen min tar for seg feltene hver for seg. Som illustrert i figur 4.25 har alle de 3 delene blitt koblet til båten som har bane ved siden av. Etter å ha vurdert parameterne til feltene og båten, konkluderer jeg med at det er riktig kobling. Legger merke til at det er fart, avstand og tid som er de avgjørende kriteriene. Det er litt tilfeldig at denne båten blir koblet til dette feltet, for med litt høyere fart ville den sluppet unna. Problemet er at feltet er delt opp i mindre biter, slik at Hu1 ikke blir stor nok. Vi kan observere manuelt at retningen til feltet sett under ett ville hatt samme retning som båtbanen, og for felt A, som har Hu1 rett under grensen, ville det blitt kobling til båten på bakgrunn av retning. Jeg godtar derfor programmets beslutning i dette tilfellet.

I det siste området med sannsynlig oljesøl i dette bildet, ble det koblet kilde til oljesølet, og manuell sjekk viste at også her var det gjort riktig valg.

### 4.4.3 *id7* og *id9*

SAR-bilde *id7* er fra Adriaterhavet, og pga. mange look-alikes, og få båter i AIS-data, fant jeg bare ett felt som jeg ville teste algoritmen på. Det var et lineært felt, og med kun 1 båtbane i nærheten, var det greit å konstatere hvorvidt algoritmen gjorde riktig, noe den gjorde.

Det siste SAR-bildet, *id9*, hadde også mange look-alikes, som gjorde det vanskelig å identifisere oljesølkandidater. Jeg tok derfor for meg et av de større feltene som ble koblet med en kilde og sjekket at det var et fornuftig valg, dersom en hadde antatt at det var et reelt oljefelt.

### 4.4.4 Vurdering av nøyaktighet til algoritmen

Til nå har jeg sett på mørke flekker som jeg antar er oljesøl, og vurdert effektiviteten av algoritmen på disse. Det er også en del look-alikes på de segmenterte bildene, og disse kan også være tilordnet kilde. Jeg gikk gjennom alle feltene i *id9* som dekket et område med minimum 100 piksler og som ble klassifisert med kilde. Grunnen til at jeg brukte bare ett bilde til dette, er antallet felt som må analyseres, som er en tidkrevende jobb. Det ble vurdert om det var en riktig avgjørelse utfra parameterverdiene og antakelse om at det var oljesøl.

Det var 24 felt større enn 100 piksler som ble tilordnet kilde i *id9*. Jeg analyserte hvert av disse feltene, og ved å se på form, retning, avstand og tid, vurderte jeg om det var gjort riktig valg av algoritmen. 18 av disse feltene anså jeg som riktig klassifisert, på bakgrunn av hva jeg har sett på de reelle oljesølene. På de siste 6 feltene var det imidlertid tvilsomt om det kunne være en kilde. Feil form i forhold til båtbanen og for stor pikselavstand i forhold til tidsforskjellen fant jeg til å være de viktigste feilområdene. Figur 4.26 viser et eksempel på at AIS-bane feilaktig blir tilordnet et felt. Det har omtrent lineær form, men siden  $Hu1$  er kun 0.46 blir det ikke sjekket orientering. Det andre tilfellet, ved at det blir feil pga. for stor pikselavstand, oppstod i de tilfellene da tidsforskjellen samtidig var veldig liten. Dette er illustrert i figur 4.27, som viser at det er usannsynlig at båten er kilde til det røde feltet. Dette eksemplet viser at et parameter som sier noen om hvilken side feltet er i forhold til båtens posisjon og retning kunne være aktuelt å ha med.

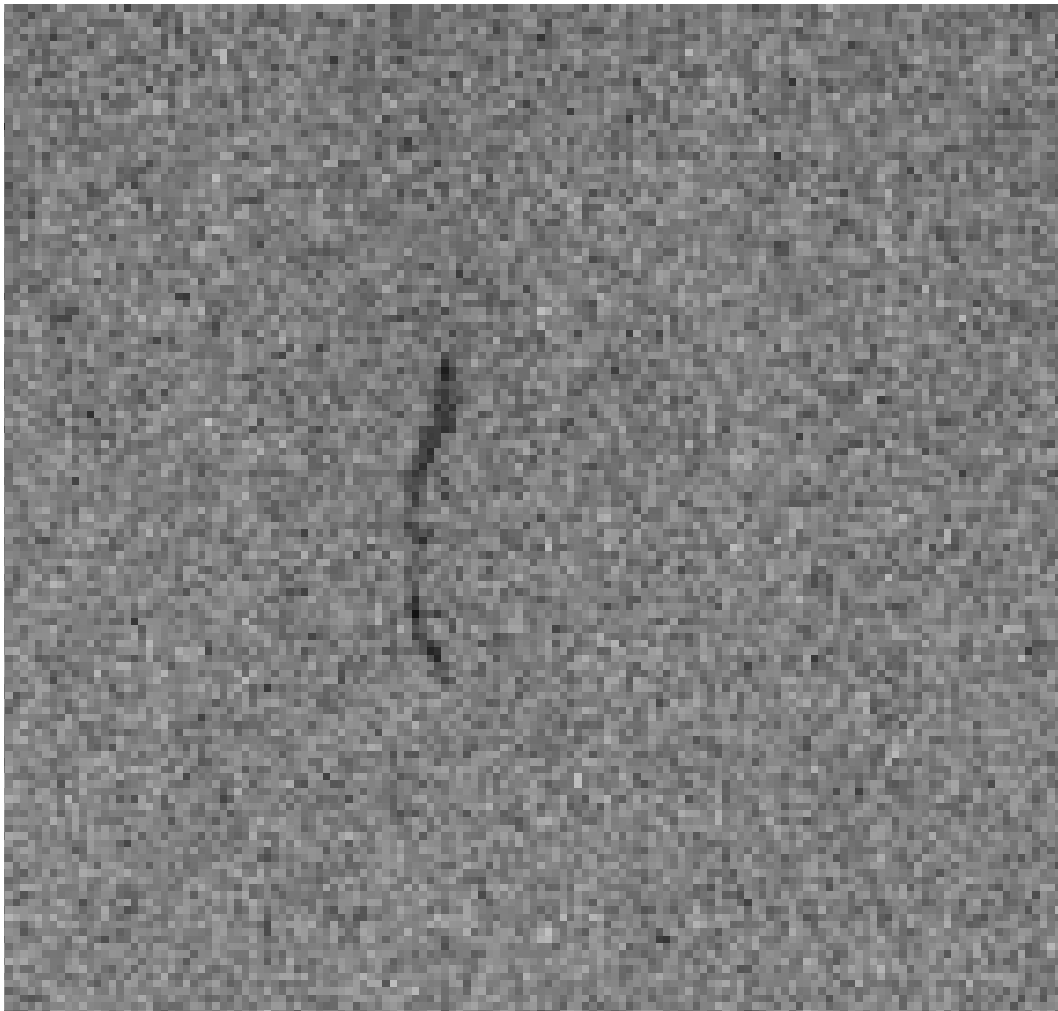
	Antall oljesøl	Riktig
<i>id4</i>	3	3
<i>id5</i>	3	3
<i>id7</i>	1	1
<i>id9</i>	1	1
Totalt	8	8

Tabell 4.2: Resultater

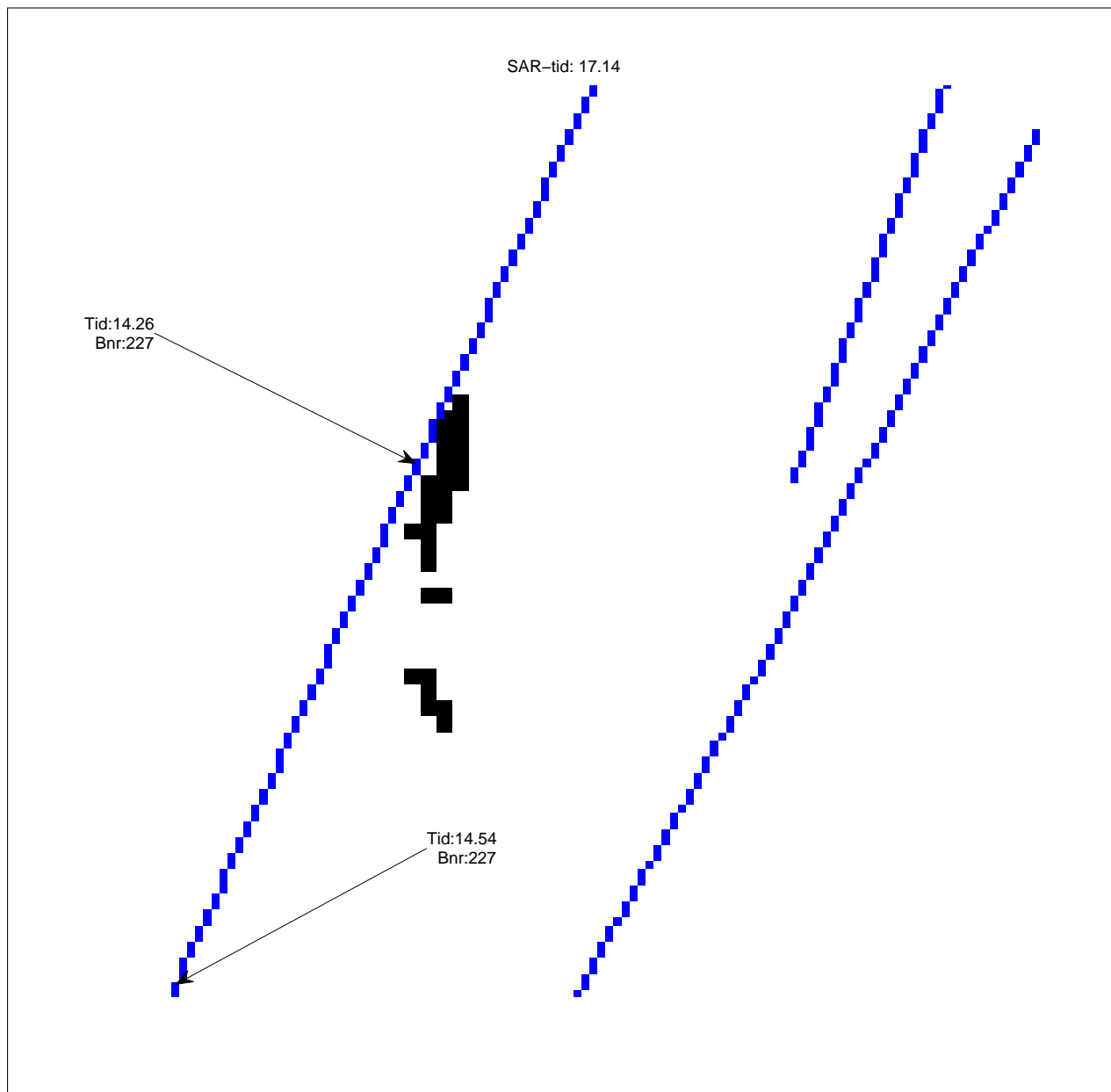
I tabell 4.2 har jeg kvantisert resultatene etter at algoritmen er testet på de 4 testbildene. Jeg er tilfreds med at det ble oppdaget kilde i de tilfellene det var riktig, utfra antagelsen om at det var riktig kilde i virkeligheten. Resultatene fra tilordningen på look-alikes var 75 %

på de 24 feltene algoritmen ble testet på. For å avgjøre mer presist hvor nøyaktig algoritmen er, må den testes på et større testmateriale. Siden det var få testeksempler, har jeg prøvd å tolke hva algoritmen gjør, og hvorfor den evt. tilordner en kilde.

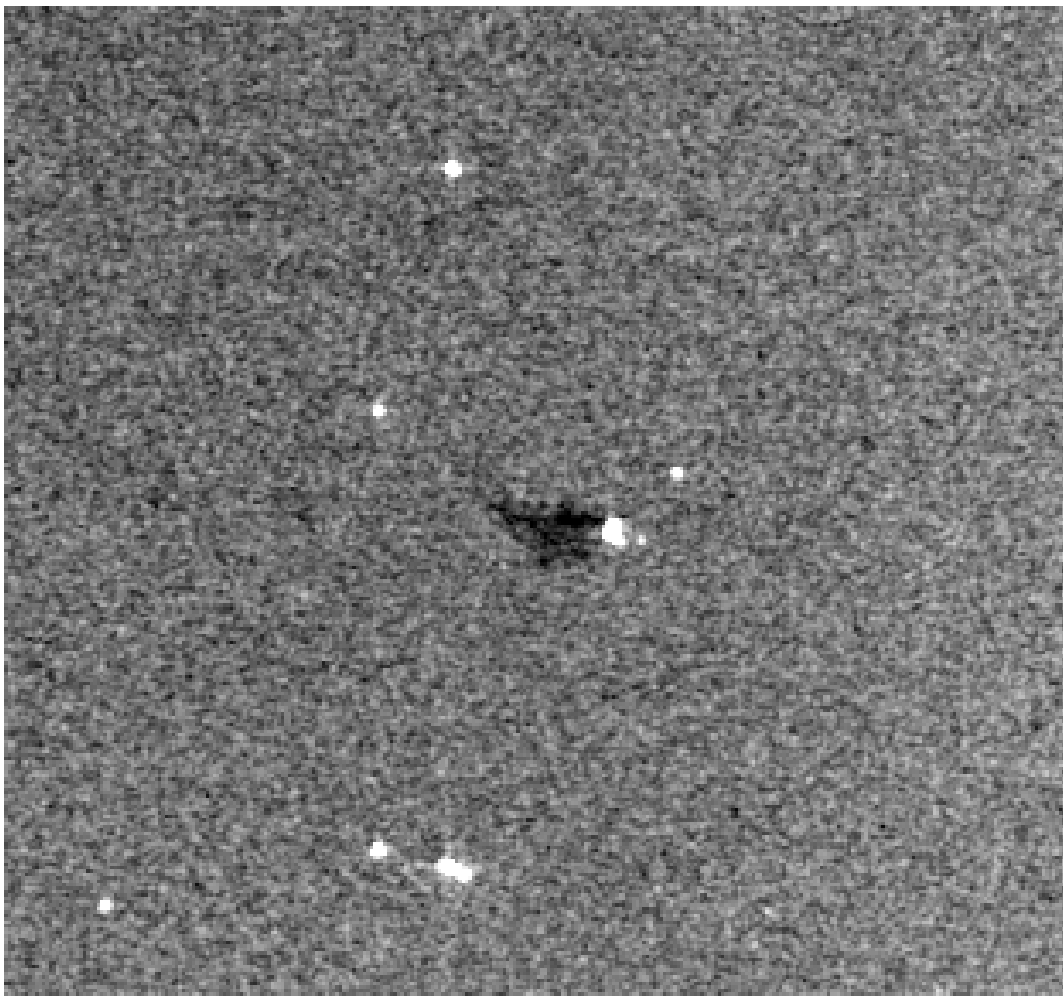




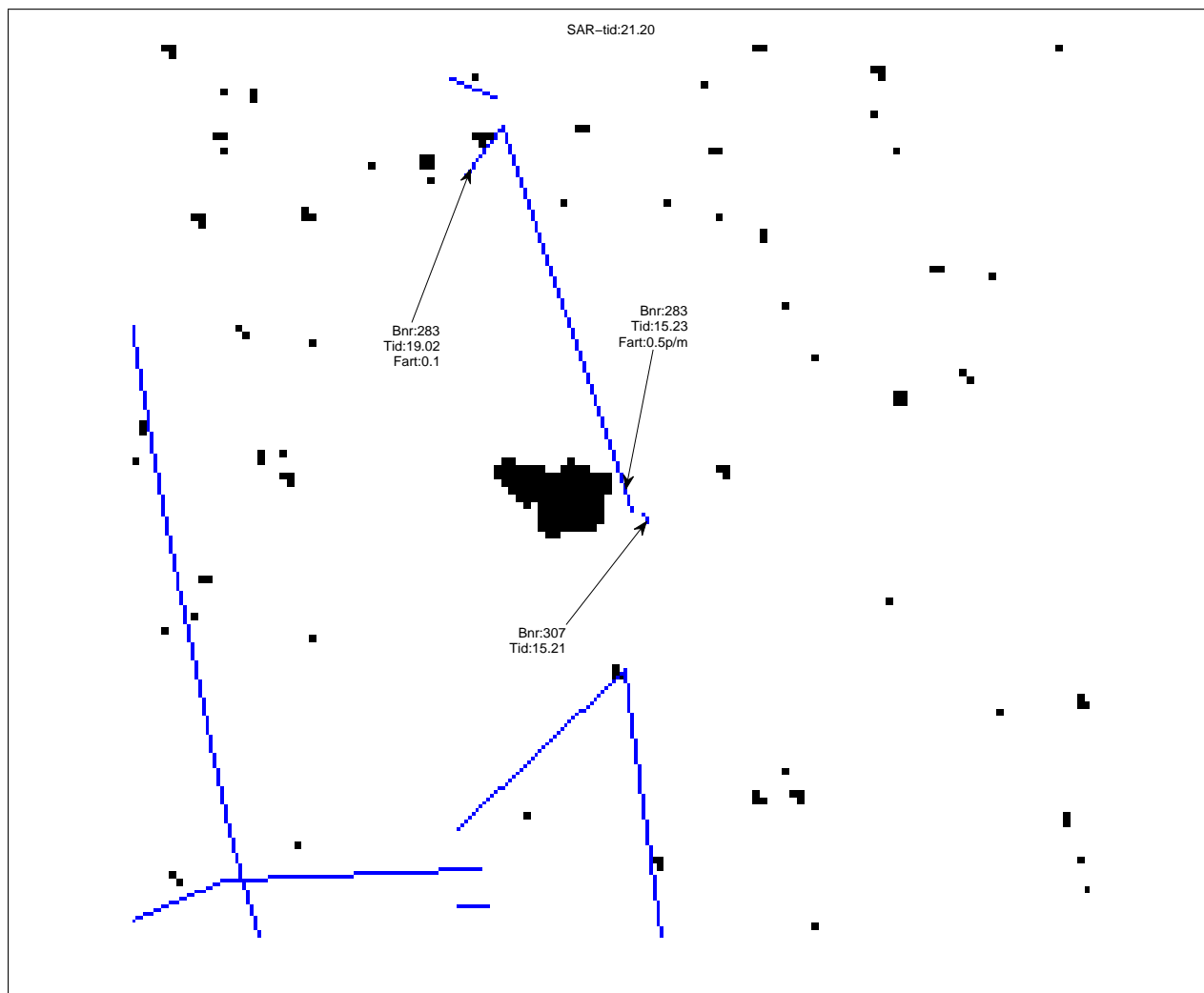
Figur 4.20: Oljesølkandidat fra  $id_4$



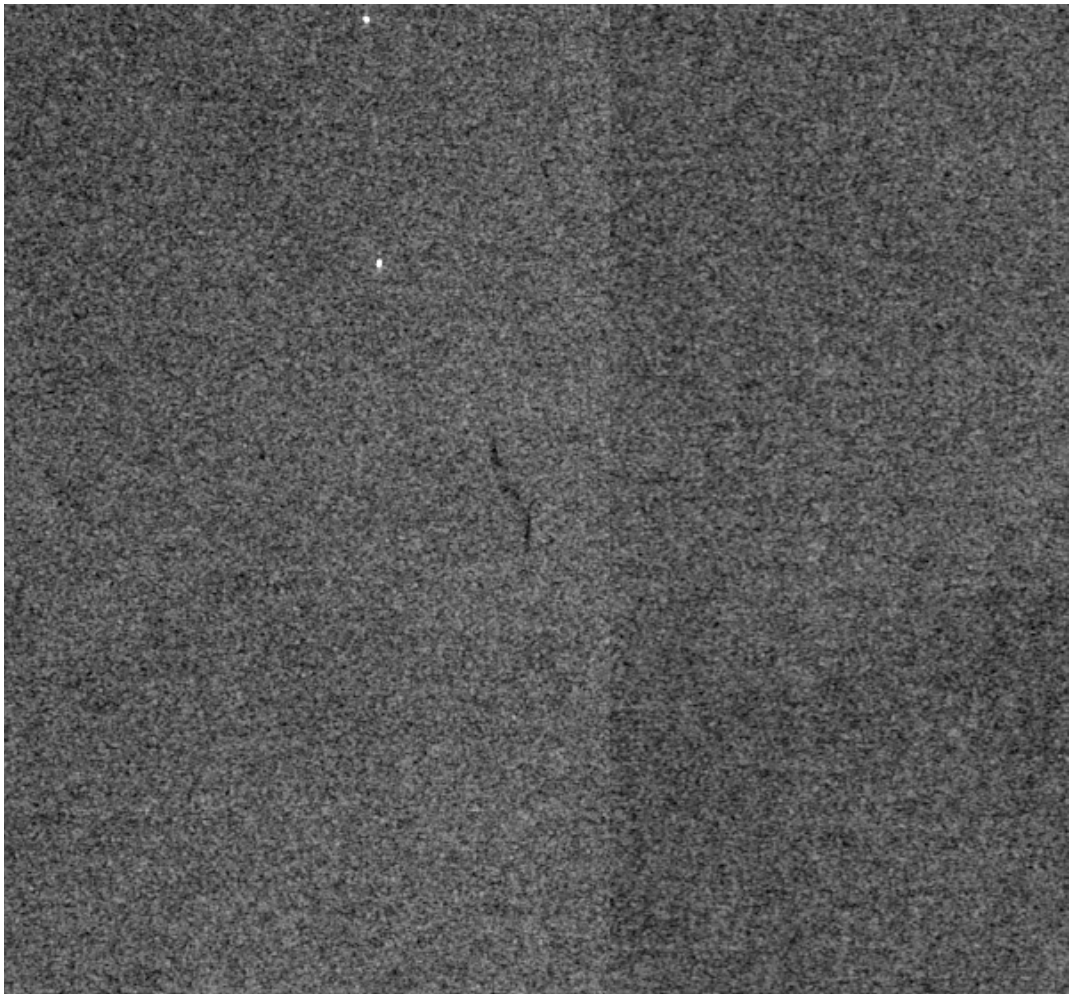
Figur 4.21: Oljesølkandidat fra *id4*



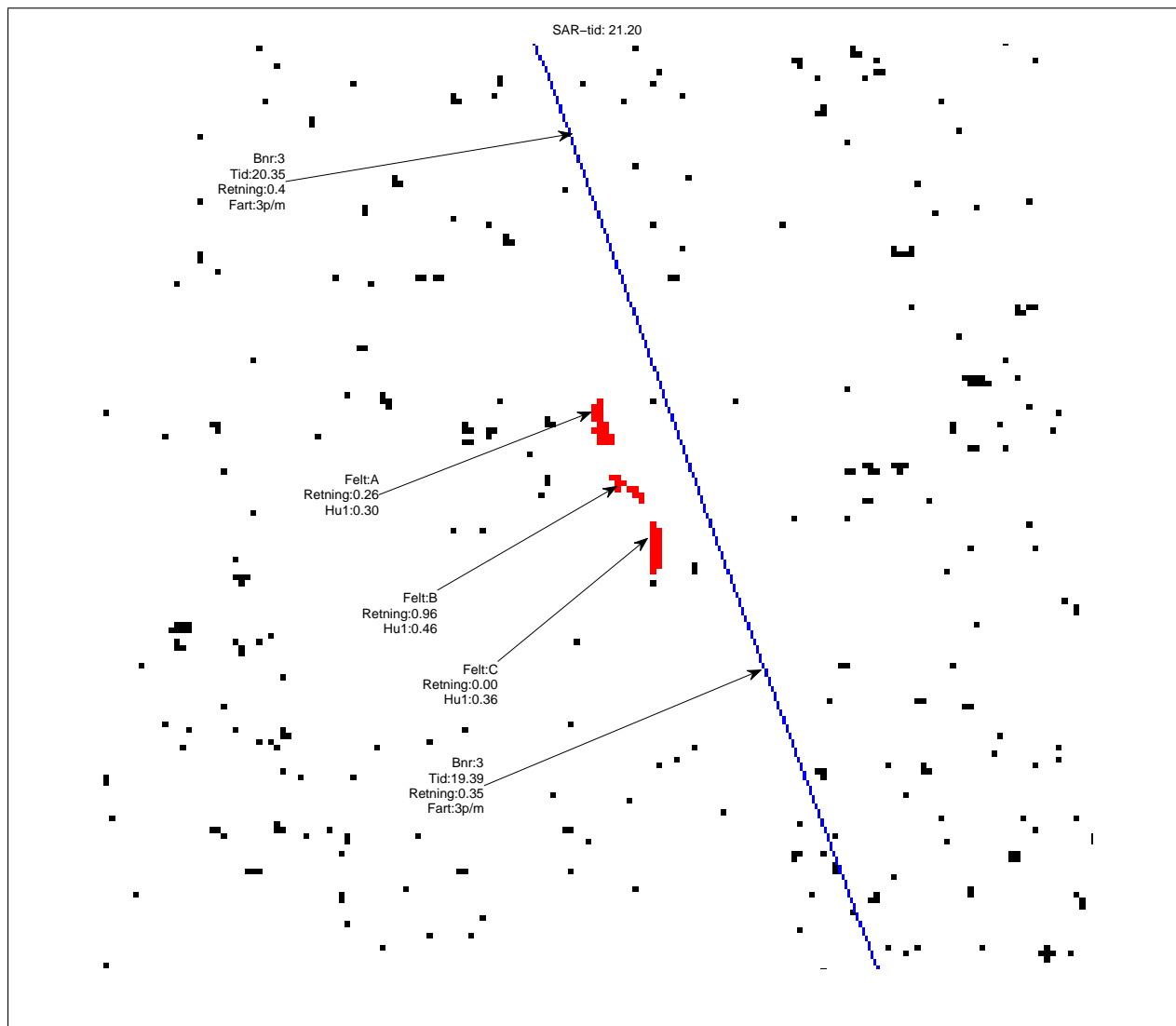
Figur 4.22: Oljesølkandidat fra *id5*. Potensielt oljesøl som ikke blir tilordnet kilde.



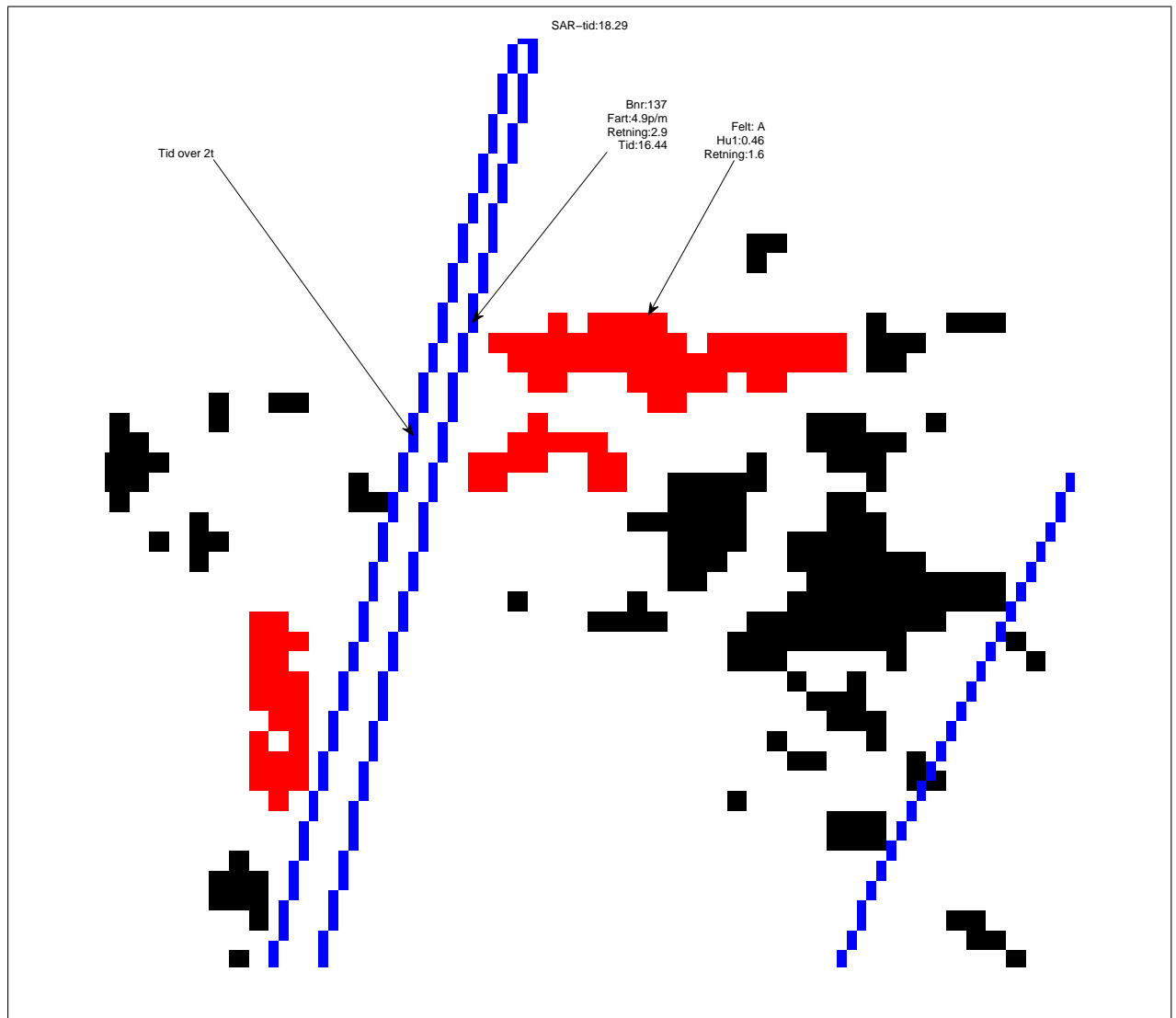
Figur 4.23: Oljesølkandidat fra *id5* uten å kunne peke på en synder utfra AIS-data



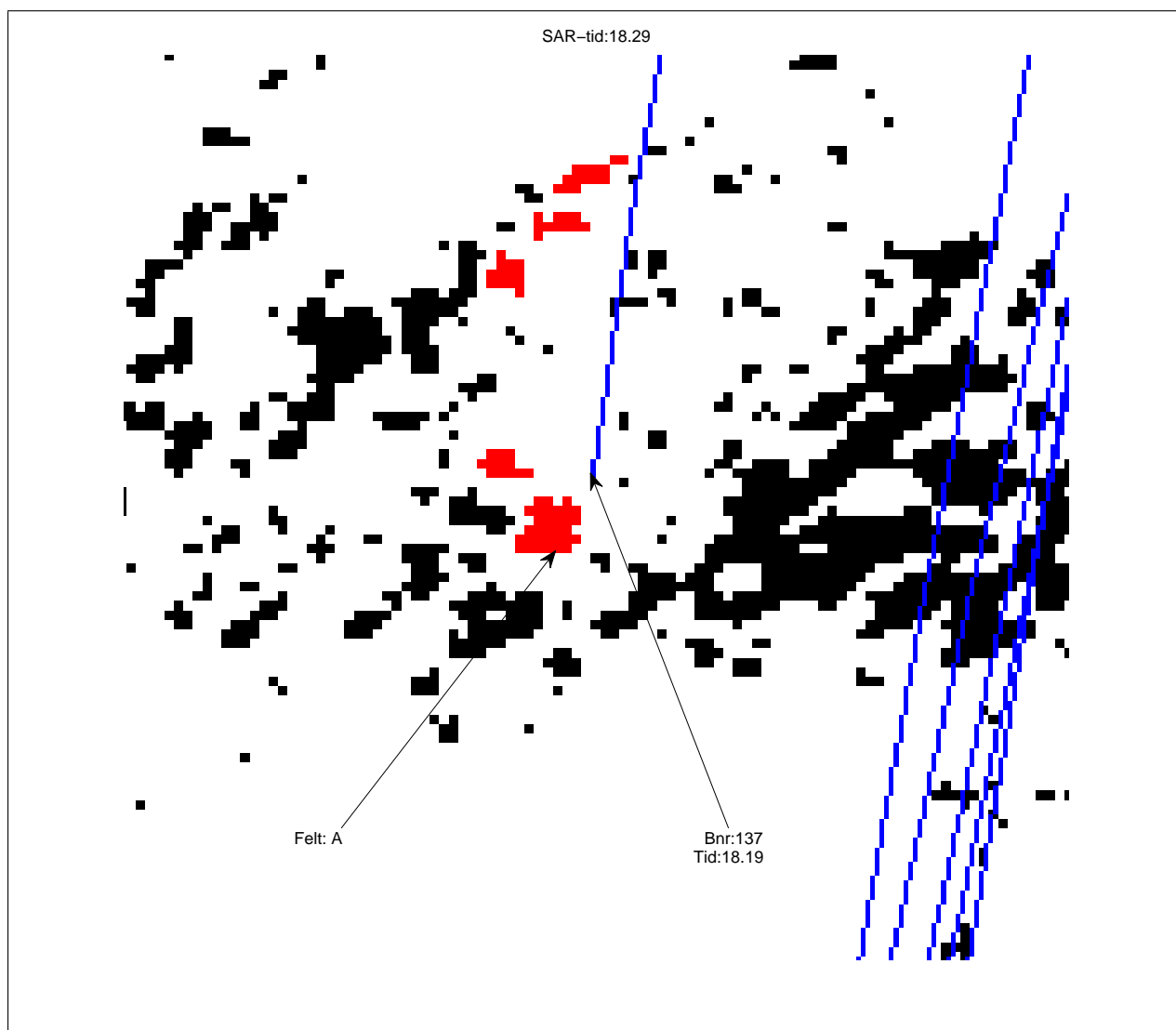
Figur 4.24: Oljesølkandidat fra *id5*. Potensielt oljesøl som riktig blir tilordnet en kilde.



Figur 4.25: Oljesølkandidat fra *id5* som riktig blir tilordnet kilde på bakgrunn av fart, avstand og tidsforskjell, ikke retning.



Figur 4.26: Eksempel på at en mørk flekk feilaktig blir tilordnet kilde ved avstand, tid og fart.



Figur 4.27: Eksempel på at en mørk flekk feilaktig blir tilordnet kilde.



# Kapittel 5

## Konklusjon

I denne oppgaven har jeg brukt AIS-data for å tilordne kilde til oljesøl. Jeg har beskrevet oppbygningen av en automatisk algoritme for å koble sammen disse dataene med en eksisterende algoritme for å detektere oljesøl i SAR-bilder. Jeg presenterte metoder for å raskt transformere AIS-koordinater til SAR-bildets geometri, siden denne jobben viste seg tidkrevende uten bearbeiding. Hvilke egenskaper i SAR-bildet som hadde relevans er diskutert, og også hva i AIS-dataene som var nødvendig å ta med. Trening av algoritmen ble gjort på et datamateriale bestående av 4 SAR-bilder, slik at grenseverdier til egenskapene som best koblet riktig båt til riktig oljesøl ble bestemt. Resultatene viste at det for manuelt identifiserte oljesøl ble det koblet riktig kilde i alle tilfeller, mens i tilfellene der look-alikes ble tilordnet kilde, var nøyaktigheten omtrent 75 %.

### 5.1 Fremtidig arbeid

Fullstendig integrering med det eksisterende rammeverket for automatisk oljesøldeteksjon var et mål i starten, men dette viste seg å være for arbeidskrevende for en kort masteroppgave. Det som gjenstår her er å implementere noen funksjoner i klassifiseringsbiten. Hvis dette blir gjort, vil identiteten til skipet bli kjent i samme øyeblikk som det blir konstatert at det er detektert et oljesøl.

Med mer tid ville jeg tatt for meg finjustering av parameterne, særlig biten med å la dem avhenge mer av hverandre. Det er også mulig det er flere parametre som kunne vært brukt. Å se på hvilken side feltet er på i forhold til båtens posisjon og retning ble diskutert i kapittel 4, og viste at det kunne forbedre algoritmen. Også et større testmateriale vil være nyttig. Med flere manuelt identifiserte oljesøl som algoritmen testes på, vil det bli klarere hva som er styrkene og svakhetene.

Doppler-forskyvning fører til feilposisjonering av båter i SAR-bildet. Denne feilen avhenger av fart og retning, og er mulig å regne ut når en har passende AIS-informasjon og kjenner detaljene til hvordan SAR-bildet ble tatt. Noen steder er det flere båter i nærheten av hverandre, og da er det viktig at posisjonene er nøyaktige slik at rett båt blir identifisert.



# Bibliografi

- [1] Canadian Space Agency. Satellite Characteristics. <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/radarsat-tableau.asp>, 2011.
- [2] C. Brekke. *Automatic Screening of Synthetic Aperture Radar Imagery for Detection of Oil Pollution in the Marine Environment*. PhD thesis, University of Oslo, 2008.
- [3] C. Brekke, D. J. Weydahl, Ø. Hellenen, and R. Olsen. Ship Traffic Monitoring Using Multi-Polarisation Satellite SAR Images Combined with AIS Reports. In *Synthetic Aperture Radar (EUSAR), 2008 7th European Conference on*, pages 1–4, 2008.
- [4] J. C. Curlander and R. N. McDonough. *Synthetic Aperture Radar. Systems and Signal Processing*. Wiley Series in Remote Sensing, 1991.
- [5] eoPortal. Envisat (Environmental Satellite). [http://www.eoportal.org/directory/pres\\_ENVISATEnvironmentalSatellite.html](http://www.eoportal.org/directory/pres_ENVISATEnvironmentalSatellite.html).
- [6] ESA European Space Agency. Envisat. [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Envisat\\_overview](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Envisat_overview), 2013.
- [7] B. Holt. SAR Imaging of the Ocean Surface. In *Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual*, chapter 2. U.S. Department of Commerce, 2004.
- [8] P. Hoogeboom and L. Lidicky. Introduction to Microwave Active Techniques and Backscatter Properties. In *Remote Sensing of the European Seas*. Springer, 2008.
- [9] D. Mera, J. M. Cotos, J. Varela-Pet, and O. Garcia-Pineda. Adaptive Thresholding Algorithm Based on SAR Images and Wind Data to Segment Oil Spills Along the Northwest Coast of the Iberian Peninsula. *Marine Pollution Bulletin*, 64(10):2090 – 2096, 2012.
- [10] Earth Snapshot. ASAR Image Orthorectification. <http://www.eosnap.com/earth-observation/asar-image-orthorectification/>, 2009.
- [11] A. H. S. Solberg. Remote Sensing of Ocean Oil-Spill Pollution. *Proceedings of the IEEE*, 100(10):2931–2945, 2012.

- [12] A. H. S. Solberg, C. Brekke, and P. O. Husoy. Oil Spill Detection in Radarsat and Envisat SAR Images. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 45(3):746–755, 2007.
- [13] R. Uiboupin, U. Raudsepp, and L. Sipelgas. Detection of Oil Spills on SAR Images, Identification of Polluters and Forecast of the Slicks Trajectory. In *US/EU-Baltic International Symposium, 2008 IEEE/OES*, pages 1–5, 2008.